



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR: SANTOS LOGROÑO, GUSTAVO JAVIER**

**TEMA: ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ENLACES  
INALÁMBRICOS DE ÁREA EXTENDIDA, UTILIZANDO HARDWARE  
DEDICADO**

**DIRECTOR: ING. AGUILAR, DARWIN M.Sc.  
CODIRECTOR: ING. LARA, ROMÁN M.Sc.**

**SANGOLQUÍ, AGOSTO 2014**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA**

**ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ENLACES  
INALÁMBRICOS DE ÁREA EXTENDIDA, UTILIZANDO HARDWARE  
DEDICADO**

**GUSTAVO JAVIER SANTOS LOGROÑO**

**SANGOLQUÍ - ECUADOR**

**2014**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
**CERTIFICADO**

Ing. Darwin Aguilar M.Sc.

Ing. Román Lara M.Sc.

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado **“ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ENLACES INALÁMBRICOS DE ÁREA EXTENDIDA, UTILIZANDO HARDWARE DEDICADO”**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el reglamento de estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

Este trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato de documento portátil (pdf).

Sangolquí, agosto de 2014.

---

Ing. Darwin Aguilar M.Sc.

DIRECTOR

---

Ing. Román Lara M.Sc.

CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

GUSTAVO JAVIER SANTOS LOGROÑO

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado **“ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ENLACES INALÁMBRICOS DE ÁREA EXTENDIDA, UTILIZANDO HARDWARE DEDICADO”**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, agosto de 2014.

---

Gustavo Javier Santos Logroño



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**AUTORIZACIÓN**

GUSTAVO JAVIER SANTOS LOGROÑO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ENLACES INALÁMBRICOS DE ÁREA EXTENDIDA, UTILIZANDO HARDWARE DEDICADO”**, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, agosto de 2014.

---

Gustavo Javier Santos Logroño

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Zoila y Arturo, quienes me han brindado su permanente e incondicional apoyo y son mi ejemplo de constancia, dedicación y superación.*

*A mi hermano Víctor, de quien espero siga superándose en todo sentido y siempre guíe sus pasos por el camino del bien.*

***Gustavo***

## AGRADECIMIENTO

*A Dios Todopoderoso y la Virgen Dolorosa, por permitirme culminar con éxito esta etapa estudiantil en compañía de mi familia y seres queridos.*

*A mi hermano Víctor y mi primo Andrés, porque han estado en todo momento conmigo, a ustedes les pido que sigan el ejemplo de superación y consigan alcanzar todas las metas que se propongan, nada es imposible.*

*A mis amigos quienes han compartido conmigo las alegrías y tristezas, los éxitos y los fracasos, porque hemos formado una amistad verdadera que perdurará con el paso de los años, a ustedes Michelle, Mishel, Freddy, David.*

*Al Ingeniero Darwin Aguilar, quien más que mi director de tesis lo considero un amigo personal, gracias por sus consejos y por todo el apoyo brindado. Al Ingeniero Román Lara, a quien agradezco todas las enseñanzas recibidas y el tiempo dedicado al presente proyecto.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO .....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
GLOSARIO .....	xv
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1    Antecedentes .....	1
1.2    Justificación e importancia.....	3
1.3    Alcance del proyecto.....	4
1.4    Objetivos .....	5
1.4.1    Objetivo general.....	5
1.4.2    Objetivos específicos .....	5
1.5    Estado del arte.....	6
1.5.1    Estudios relacionados.....	8
CAPÍTULO 2.....	10
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	10
2.1    Optimización WWAN.....	10
2.1.1    Importancia de optimizar la WWAN .....	12
2.1.2    Ventajas.....	15
2.2    Teoría de operaciones .....	15
2.2.1    Criterios de coincidencia.....	17
2.2.2    Listas de control de acceso.....	18

2.3	Política de enrutamiento.....	20
2.3.1	Handshaking en paquetes TCP .....	21
2.3.2	Handshaking en paquetes UDP.....	23
2.4	Política de QoS .....	24
2.4.1	Marcado y manejo de paquetes .....	25
2.4.2	Código de servicios diferenciados .....	27
2.5	Política de optimización.....	30
2.5.1	Integridad de red .....	31
2.5.2	Memoria de red .....	34
2.5.3	Aceleración de red .....	37
2.6	Implementaciones comunes .....	39
2.6.1	Implementación en línea - modo bridge.....	40
2.6.2	Implementación fuera de ruta - modo router.....	41
CAPÍTULO 3.....		42
MATERIALES Y MÉTODOS .....		42
3.1	Materiales.....	42
3.1.1	Optimizadores WWAN.....	42
3.1.2	Equipos de radiofrecuencia.....	47
3.1.3	Entorno de trabajo.....	53
3.2	Métodos.....	59
3.2.1	Configuración de los equipos APC Mach 5 .....	59
3.2.2	Configuración de los equipos NX-1700.....	60
3.2.3	Modelos de propagación .....	60
CAPÍTULO 4.....		63
PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....		63
4.1	Consideraciones previas.....	63
4.1.1	Escenario de pruebas.....	63
4.1.2	Sitios de trabajo.....	64
4.2	Estudio de campo .....	65
4.3	Planificación de la red.....	68
4.4	Validación del diseño de red.....	78

4.4.1	Topología de red .....	80
4.5	Implementación de la red.....	81
4.5.1	Equipos APC Mach 5.....	81
4.5.2	Equipos NX-1700 .....	86
4.5.3	Túnel virtual.....	88
4.5.4	Políticas de enrutamiento .....	90
4.5.5	Políticas de calidad de servicio .....	92
4.5.6	Políticas de optimización .....	95
CAPÍTULO 5.....		98
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		98
5.1	Pruebas.....	98
5.1.1	Servidor de archivos FTP.....	99
5.1.2	Servidor de transmisión multimedia .....	100
5.1.3	Servidor de VoIP.....	101
5.1.4	Escritorio remoto y colaboración.....	103
5.1.5	Inyección de tráfico.....	105
5.2	Resultados .....	108
5.2.1	Servidores de aplicación .....	109
5.2.2	Inyección de tráfico.....	117
CAPÍTULO 6.....		142
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		142
6.1	Conclusiones .....	142
6.2	Recomendaciones .....	145
Bibliografía .....		147

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Enlace WWAN PTP. ....	11
Figura 2. Ventajas de optimizar la WWAN. ....	14
Figura 3. Túneles virtuales entre dispositivos WOC. ....	16
Figura 4. Filtrado por criterios de coincidencia. ....	18
Figura 5. ACL positiva. ....	19
Figura 6. ACL negativa. ....	20
Figura 7. Política de enrutamiento. ....	20
Figura 8. Exclusión de flujos. ....	21
Figura 9. Handshake TCP. ....	22
Figura 10. Handshake UDP. ....	23
Figura 11. Política de QoS. ....	25
Figura 12. Marcado DSCP por defecto. ....	25
Figura 13. Marcado DSCP con variaciones. ....	26
Figura 14. Campo ToS. ....	27
Figura 15. Política de optimización. ....	30
Figura 16. FEC. ....	32
Figura 17. POC. ....	33
Figura 18. Memoria de red. ....	34
Figura 19. Deduplicación. ....	35
Figura 20. Compresión. ....	37
Figura 21. Modo bridge. ....	40
Figura 22. Modo router. ....	41
Figura 23. Escenario de trabajo. ....	42
Figura 24. Dispositivos WOC. ....	43
Figura 25. La pila OSI. ....	44
Figura 26. Silver Peak NX-1700. ....	45
Figura 27. Vista Frontal NX-1700. ....	46
Figura 28. Vista Posterior NX-1700. ....	46
Figura 29. Software de administración. ....	47
Figura 30. Deliberant APC Mach 5. ....	48
Figura 31. Patrón de radiación de la antena. ....	49
Figura 32. Leds externos APC Mach 5. ....	51
Figura 33. IDU - ODU APC Mach 5. ....	51
Figura 34. Analizador de espectro. ....	52
Figura 35. Componentes D-ITG. ....	55
Figura 36. Sitios de trabajo. ....	65
Figura 37. Mástil para antenas. ....	67

Figura 38. Coordenadas GPS.....	67
Figura 39. Zonas de Fresnel. ....	70
Figura 40. Perfil simulado. ....	72
Figura 41. Mapa de operación. ....	73
Figura 42. Perfil con Google Earth. ....	79
Figura 43. Antena sitio A.....	80
Figura 44. Antena sitio B.....	80
Figura 45. Topología de red. ....	81
Figura 46. Configuración IP - radio sitio A. ....	82
Figura 47. Configuración wireless - radio sitio A.....	82
Figura 48. Configuración IP - radio sitio B. ....	83
Figura 49. Configuración wireless - radio sitio B.....	83
Figura 50. Configuración de seguridad - radios. ....	84
Figura 51. Verificación - radio sitio A. ....	85
Figura 52. Verificación - radio sitio B. ....	85
Figura 53. Configuración IP - WOC sitio A.....	86
Figura 54. Configuración IP - WOC sitio B.....	87
Figura 55. Sincronización - dispositivos WOC. ....	87
Figura 56. Configuración túnel virtual. ....	89
Figura 57. Verificación túnel virtual. ....	90
Figura 58. Política de enrutamiento - WOC A. ....	91
Figura 59. Política de enrutamiento - WOC B. ....	92
Figura 60. Política de calidad de servicio - WOC A.....	93
Figura 61. Política de calidad de servicio - WOC B.....	94
Figura 62. Política de optimización - WOC A. ....	95
Figura 63. Política de optimización - WOC B. ....	95
Figura 64. Aceleración TCP – equipos WOC.....	96
Figura 65. Aceleración TCP – equipos WOC.....	98
Figura 66. Servidor de archivos FTP. ....	100
Figura 67. Transcodificación multimedia. ....	101
Figura 68. Emisión multimedia.....	101
Figura 69. Servidor de VoIP. ....	102
Figura 70. Configuración de extensiones.....	102
Figura 71. Registro softphone - llamada. ....	103
Figura 72. Escritorio remoto. ....	104
Figura 73. Videoconferencia. ....	104
Figura 74. Inyección inicial TCP. ....	105
Figura 75. Inyección inicial UDP.....	106
Figura 76. Envío de tráfico.....	107
Figura 77. Recepción de tráfico.....	108



Figura 78. Monitorización de flujos.....	110
Figura 79. Ancho de banda no optimizado. ....	112
Figura 80. Ancho de banda optimizado.....	112
Figura 81. Reducción UDP.....	114
Figura 82. Reducción SIP.....	114
Figura 83. Reducción HTTP.....	115
Figura 84. Reducción FTP.....	116
Figura 85. Reducción RDP.....	116
Figura 86. Bitrate TCP @ 200 Mbps.....	118
Figura 87. Bitrate TCP @ 200 Mbps normal.....	119
Figura 88. Bitrate TCP @ 200 Mbps optimizado.....	119
Figura 89. Bitrate TCP @ 100 Mbps.....	122
Figura 90. Bitrate TCP @ 100 Mbps normal.....	122
Figura 91. Bitrate TCP @ 100 Mbps optimizado.....	123
Figura 92. Jitter TCP @ 100 Mbps.....	124
Figura 93. Jitter TCP @ 100 Mbps normal. ....	125
Figura 94. Jitter TCP @ 100 Mbps optimizado. ....	125
Figura 95. Delay TCP @ 100 Mbps. ....	126
Figura 96. Delay TCP @ 100 Mbps normal.....	127
Figura 97. Delay TCP @ 100 Mbps optimizado.....	127
Figura 98. Desviación estándar de delay.....	128
Figura 99. Histograma y función de probabilidad. ....	128
Figura 100. Bitrate UDP @ 200 Mbps. ....	130
Figura 101. Bitrate UDP @ 200 Mbps normal. ....	131
Figura 102. Bitrate UDP @ 200 Mbps optimizado.....	131
Figura 103. Bitrate UDP @ 100 Mbps. ....	132
Figura 104. Bitrate UDP @ 100 Mbps normal.....	133
Figura 105. Bitrate UDP @ 100 Mbps optimizado.....	133
Figura 106. Bitrate UDP @ 3.8 Mbps. ....	134
Figura 107. Bitrate UDP @ 3.8 Mbps normal.....	135
Figura 108. Bitrate UDP @ 3.8 Mbps optimizado.....	135
Figura 109. Jitter TCP @ 100 Mbps.....	136
Figura 110. Jitter UDP @ 100 Mbps normal.....	137
Figura 111. Jitter UDP @ 100 Mbps optimizado.....	137
Figura 112. Packet loss UDP @ 100 Mbps. ....	138
Figura 113. Packet loss UDP @ 100 Mbps normal. ....	139
Figura 114. Packet loss UDP @ 100 Mbps optimizado.....	139
Figura 115. Packet loss UDP @ 100 Mbps. ....	140
Figura 116. Packet loss UDP @ 3.8 Mbps normal. ....	141
Figura 117. Packet loss UDP @ 3.8 Mbps optimizado.....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Assured forwarding.....	28
Tabla 2. Códigos DSCP. ....	29
Tabla 3. Características de los equipos NX-1700.....	45
Tabla 4. Elementos de los equipos NX-1700.....	46
Tabla 5. Características de la antena. ....	49
Tabla 6. Características de los equipos APC Mach 5. ....	50
Tabla 7. Características de VLC. ....	57
Tabla 8. Coordenadas teóricas de los sitios de trabajo. ....	65
Tabla 9. Coordenadas reales de los sitios de trabajo. ....	67
Tabla 10. Alturas de los sitios de trabajo.....	71
Tabla 11. Configuración del transmisor. ....	71
Tabla 12. Configuración del receptor. ....	72
Tabla 13. Parámetros de simulación.....	73
Tabla 14. Resultados simulados.....	74
Tabla 15. Coeficientes SUI. ....	76
Tabla 16. Política de enrutamiento - WOC A.....	91
Tabla 17. Política de enrutamiento - WOC B.....	91
Tabla 18. Política de calidad de servicio - WOC A. ....	93
Tabla 19. Política de calidad de servicio - WOC B. ....	94
Tabla 20. Política de optimización - WOC A.....	97
Tabla 21. Política de optimización - WOC B.....	97
Tabla 22. Esquema de direccionamiento. ....	99
Tabla 23. Bitrate TCP @ 200 Mbps. ....	118
Tabla 24. LAN/WAN Bitrate TCP @ 200 Mbps. ....	119
Tabla 25. Bitrate TCP @ 100 Mbps. ....	122
Tabla 26. Jitter TCP @ 100 Mbps. ....	124
Tabla 27. Delay TCP @ 100 Mbps.....	126
Tabla 28. Delay calculado TCP @ 100 Mbps.....	129
Tabla 29. Error porcentual delay TCP @ 100 Mbps.....	129
Tabla 30. Bitrate UDP @ 200 Mbps.....	130
Tabla 31. LAN/WAN Bitrate UDP @ 200 Mbps.....	131
Tabla 32. Bitrate UDP @ 100 Mbps.....	132
Tabla 33. Bitrate UDP @ 100 Mbps.....	134
Tabla 34. Jitter UDP @ 100 Mbps.....	136
Tabla 35. Packet loss UDP @ 100 Mbps.....	139
Tabla 36. Packet loss UDP @ 3.8 Mbps.....	140
Tabla 37. Resultados servidores de aplicación. @ 3.8 Mbps.....	143
Tabla 38. Resultados inyección de tráfico.....	144

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación cumple con el objetivo principal de evaluar el rendimiento de enlaces inalámbricos de área extendida WWAN y determinar una solución de optimización de acuerdo a su desempeño. Para esto, se empezó realizando un estudio de las diferentes técnicas de optimización WAN existentes y la teoría de operación de los equipos optimizadores WOC. Luego, se implementó un enlace WAN punto a punto para realizar las pruebas necesarias, por lo que fue necesario la realización de un estudio de campo y planificación del mismo. La planificación del enlace se realizó utilizando software propietario Deliberant denominado LinkCalc que facilita los cálculos y levantamiento del enlace utilizando estos equipos. Los equipos de radiofrecuencia utilizados para el establecimiento del enlace fueron Deliberant APC Mach 5, debido a las características de rendimiento necesarias en un enlace WWAN de este tipo. Los dispositivos optimizadores utilizados fueron Silver Peak NX-1700 por la capacidad de optimización y la diversidad de técnicas que ofrecen para mejorar el rendimiento de un enlace WAN. Luego de implementado el enlace, se realizaron pruebas de rendimiento utilizando servidores de aplicación e inyección de tráfico tanto TCP como UDP para evaluar el rendimiento del enlace WWAN antes y después de la aplicar la solución de optimización. Finalmente, se analizó y comparó los resultados obtenidos y se determinó que existe una considerable mejora en el rendimiento del enlace WWAN tanto a nivel WAN como a nivel LAN utilizando la configuración de calidad de servicio QoS y optimización propuesta.

***PALABRAS CLAVE:*** OPTIMIZACIÓN WWAN, RENDIMIENTO WAN, QoS, DISPOSITIVOS WOC, TCP / UDP.

## **ABSTRACT**

The present study meets the purpose of evaluating the performance of wide-area wireless links WWAN and determine an optimization solution according to their performance. In order to achieve this goal, we began making a study of different available WAN optimization techniques and also theory of operations of optimizer appliances WOC. Then a point-to-point WAN link was implemented in order to performed all the necessary tests, so there was important to made a field study and a planning for the link before its implementation. The link planning was made using proprietary software for Deliberant equipment called LinkCalc, which makes easier the calculation and implementation of the link using these devices. The radio frequency equipments used for link establishment were Deliberant APC Mach 5, due to the performance characteristics required in a WWAN link like this one. The optimizer appliances used were Silver Peak NX-1700 because of their optimization capacity and the range of available techniques to enhance the performance of a WAN link. After the link was implemented, several performance tests were performed using application servers and injection of both TCP and UDP traffic to evaluate the WWAN link performance before and after the configuration of the optimization solution. Finally, all the results were analyzed and compared and we found that there is a huge improvement in the WWAN link performance in both WAN and LAN levels when we use the configuration of quality of service QoS and optimization suggested.

**KEYWORDS:** WWAN OPTIMIZATION, WAN PERFORMANCE, QoS, WOC APPLIANCES, TCP / UDP.

## GLOSARIO

ACK	<i>Acknowledgment</i> , acuse de recibo
ACL	<i>Access control list</i> , lista de control de acceso
AC3	<i>Dolby Digital</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i> , estándar de encriptación avanzado
AF	<i>Assured Forwarding</i>
ARQ	<i>Automatic Repeat Request</i> , requerimiento de respuesta automático
BE	<i>Best Efford</i> , mejor esfuerzo
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i> , modulación por desplazamiento de fase binario
CDMA	<i>Code División Múltiple Access</i> , multiplexación por división de código
CLI	<i>Command line interface</i> , interfaz de línea de comandos
CS	<i>Class Selector</i>
DCCP	<i>Datagram Congestion Control Protocol</i> , protocolo de control de congestión de datagramas
DNS	<i>Domain Name System</i> , sistema de nombres de dominio
DSCP	<i>Differentiated Services Code Point</i> , código de servicios diferenciados
D-ITG	<i>Distributed Internet Traffic Generator</i>
ECC	<i>Error-correcting code</i> , código de corrección de errores
ECN	<i>Electronic Communication Network</i>
EF	<i>Expedited forwarding</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i> , corrección de errores hacia adelante
FLAC	<i>Free Lossless Audio Codec</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i> , protocolo de transferencia de archivos
FTPS	<i>File Transfer Protocol Secure</i> , protocolo de transferencia de archivos seguro
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> , servicio general de paquetes vía radio
GPS	<i>Global Positioning System</i> , sistema de posicionamiento global

GRE	<i>Generic Routing Encapsulation</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i> , interfaz gráfica de usuario
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> , protocolo de transferencia de hipertexto
HTTPS	<i>Hypertext Transfer Protocol Secure</i> , protocolo de transferencia de hipertexto seguro
ICMP	<i>Floppy disk drive</i> , unidad de disquetes flexibles o disquetera
IDT	<i>Inter departure time</i>
IDU	<i>Indoor Unit</i> , unidad interna
IP	<i>Internet Protocol</i> , protocolo de internet
IPSec	<i>Internet Protocol Security</i> , protocolo de internet cifrado
IDU	<i>Indoor unit</i> equipo interno
LAN	<i>Local Area Network</i> , red de área local
LinkCalc	<i>Link Calculator</i> .
LOS	<i>Line of Sight</i> , línea de vista
LAN	<i>Local Area Network</i> Red de área local
LOS	<i>Line of sight</i> , línea de vista
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i>
MIMO	<i>Multiple Input, Multiple Output</i> , múltiples entradas, múltiples salidas
MJPEG	<i>Motion Joint Photographic Experts Group</i>
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
MTU	<i>Maximum transfer unit</i> , unidad máxima de transferencia
NAT	<i>Network Address Translation</i> traducción de dirección de red
NLOS	<i>Non Line of Sight</i> , sin línea de vista
nLOS	<i>Near Line of Sight</i> , cerca de línea de vista
NTP	<i>Network Time Protocol</i> , protocolo de tiempo de red
ODU	<i>Outdoor Unit</i> , unidad externa
OFMD	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> , multiplexación por división de frecuencias ortogonales
OSI	<i>Open System Interconnection</i> , interconexión de sistemas abiertos
OWD	<i>One Way Delay</i> , retardo unidireccional

PBX	<i>Private Branch Exchange</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i> , modulación por impulsos codificados
PDU	<i>Protocol data unit</i> , protocolo de unidad de datos
PPPoE	<i>Point to Point Protocol over Ethernet</i> , protocolo punto a punto sobre Ethernet
PS	<i>Packet Size</i> , tamaño de paquete
PTMP	<i>Point to Multipoint</i> , punto a multipunto
PTP	<i>Point to Point</i> , punto a punto
POC	<i>Packet Order Correction</i> , corrección de orden de paquetes
P2P	<i>Peer to Peer</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude modulation</i> , modulación de amplitud en cuadratura
QoS	<i>Quality of Service</i> , calidad de servicio
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> , modulación por desplazamiento de fase por cuadratura
RDP	<i>Remote Desktop Protocol</i> , protocolo de escritorio remoto
RFC	<i>Request for comments</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i> , indicador por fuerza de la señal recibida
RTCP	<i>Real Time Transport Protocol</i> , protocolo de transporte en tiempo real
RTT	<i>Round Trip Time</i> , tiempo de ida y vuelta
SCTP	<i>Stream Control Transmission Protocol</i> , protocolo de control de transmisión de streaming
SFTP/ SSH	<i>Secure File Transfer Protocol</i> , protocolo de transferencia de archivos seguro
SNMP	<i>Simple Network Management protocol</i> , protocolo simple de administración de red
SSID	<i>Service Set Identifier</i> , identificador de conjunto de servicios
SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>
STBC	<i>Space Time Block Coding</i> , codificación espacio tiempo

SUI	<i>Stanford University Interim Model</i>
SYN	<i>Synchronized</i> , bit de control TCP
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> , protocolo de control de transmisiones
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TI	<i>Tecnologías de la Información</i>
TLS	<i>Transport Layer Security</i> , seguridad en la capa de transporte
ToS	<i>Type of Service</i> , tipo de servicio
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> , protocolo de datagrama de usuario
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> , sistema universal de telecomunicaciones móviles
VLAN	<i>Wired Equivalent Privacy</i> es una encriptación para red WiFi
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i> , voz sobre protocolo de internet
VRRP	<i>Virtual Router Redundancy Protocol</i> , protocolo de redundancia en routers virtuales
VXOA	<i>Silver Peak's Virtual Acceleration Open Architecture</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i> , red de área extendida
WCCP	<i>Web Cache Communication Protocol</i> , protocolo de control y comunicación web
WDS	<i>Wireless Distribution System</i> , sistema de distribución inalámbrico
WEP	<i>Wired Equivalent Privacy</i> , privacidad equivalente a cableado
WOC	<i>WAN Optimization Controller</i> , controlador de optimización WAN
WPA	<i>Wi-Fi Protected Access</i> , acceso Wi-Fi Protegido
WNMS	<i>Wireless Network Management System</i> , sistema de administración de redes inalámbricas
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i> , red de área extendida inalámbrica



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Actualmente las comunicaciones son la base principal de supervivencia a nivel mundial, por lo cual, es importante contar con sistemas de telecomunicaciones lo suficientemente robustos como para brindar servicios multimedia en tiempo real que los usuarios requieren para satisfacer sus necesidades tecnológicas (Martínez, 2012).

La comunicación en el ciclo de vida diario, se ha convertido en una necesidad y se ha desarrollado mediante sistemas cada vez mejores y más avanzados. Así, actualmente se cuenta con diversas formas de comunicación y una variedad de servicios involucrados dentro del ámbito de las telecomunicaciones (Estepa, 2004).

Los sistemas inalámbricos han ido reemplazando a las comunicaciones a través de cable, las redes actuales ya no utilizan medios de propagación físicos sino ondas electromagnéticas que se transmiten en el espacio para conectar dispositivos a Internet y a la red general y sus aplicaciones (Medina Garcés & Navas Cajamarca, 2006). Tienen ventajas como la rápida y sencilla instalación de la red sin necesidad de usar cableado, permitiendo añadir características como movilidad y colaboración, mejorando la capacidad de respuesta y acceso a la información.

Los servicios de colaboración, permiten interactuar más activamente con el usuario, obteniendo una ventaja competitiva mediante servicios personalizados, permitiendo su conexión a la red desde cualquier espacio de trabajo, inclusive dispositivos móviles, ofreciendo servicios de voz, mensajes o video llamadas (Cisco, Igniting Collaboration in the Next-Generation Enterprise, 2012).

Es por esto que los enlaces inalámbricos son muy utilizados para poder ofrecer servicios multimedia en tiempo real en sitios donde se busca aumentar la productividad y fomentar el uso compartido de información, con acceso ilimitado a documentos, correo electrónico, aplicaciones y otros recursos de red, permitiendo a los usuarios disfrutar de un acceso constante a las herramientas que necesitan para realizar su trabajo (Valle, 2008).

Sin embargo, a pesar de la utilidad y los constantes avances que se generan en el campo de las comunicaciones inalámbricas, los sistemas de este tipo presentan varios problemas intrínsecos que limitan su utilización en las redes de nueva generación.

Una de las mayores desventajas que tienen los sistemas inalámbricos en general, es que ofrecen un menor ancho de banda y por ende una menor velocidad de conexión en comparación a un sistema cableado, debido principalmente a las interferencias y pérdidas de señal que se generan en el medio durante la transmisión de datos (Ramírez Sánchez & Díaz Martínez, 2008).

Existen varios factores que hacen que sea difícil ofrecer aplicaciones críticas a través de un enlace inalámbrico de área extendida. Por ejemplo, enlaces de ancho de banda limitado con un alto volumen de tráfico, a menudo conducen a la congestión de la red, lo que generalmente se traduce en pérdida de paquetes, latencia y jitter (APTIDE, 2012).

Estos parámetros tienen un efecto adverso en el rendimiento de los enlaces y se agravan aún más cuando diferentes aplicaciones con requisitos de entrega únicos acceden a los recursos de red. Por ejemplo, el tráfico de voz debe ser manejado de forma distinta al tráfico web cuando se atraviesa un enlace de área extendida. Estos problemas generan un rendimiento deficiente, ancho de banda insuficiente, costoso o congestionado, creando dificultades en la consolidación de la información debido a retardos y falta de visibilidad en la red, aplicaciones y servidores (SERVITEC, 2011).

Con el objetivo de lograr la convergencia tecnológica de los servicios multimedia (voz, datos, video), se debe garantizar que los enlaces inalámbricos de área extendida ofrezcan una alta capacidad de transferencia de información a altas velocidades, optimizando todo el tráfico independientemente del protocolo de transporte o la versión de software de aplicación, mejorando la latencia incluso en el más grande de los enlaces, permitiendo que los usuarios tengan acceso a las aplicaciones y recursos de red, asegurando así la rentabilidad del sistema de telecomunicaciones (EMC, 2010).

## **1.2 Justificación e importancia**

Dada la importancia del acceso a las aplicaciones en cualquier momento y lugar, los usuarios se ven en la necesidad de mejorar sus enlaces a fin de acelerar el rendimiento de los servicios en las redes de área extendida (GIS, 2012).

El costo de implementación de un nuevo enlace o el aumento de capacidad del existente, representa un costo significativo que no siempre está dentro del presupuesto del usuario que por lo general busca mejorar su red utilizando los mismos recursos, sin necesidad de atarse a contratos o pagos adicionales, por lo que el factor económico es fundamental en este proceso (Security, 2014).

Mediante la optimización de enlaces, se puede aumentar el rendimiento de las aplicaciones en la red en hasta un cincuenta por ciento, a la vez que se reduce de forma simultánea el consumo de ancho de banda (FatPipe, 2012). Se puede consolidar servidores con mayor eficacia, virtualizar servicios y aplicaciones en el borde de la red para reducir aún más los costos, y usar nuevas y mejores herramientas de análisis de rendimiento (IBM, 2012).

Gracias a esto, se puede proporcionar acceso rápido y confiable a los datos y aplicaciones, lo que permite ofrecer servicios de colaboración en tiempo real a los usuarios en diferentes localidades (voz, vídeo, escritorios virtuales). Al mismo tiempo, se puede reducir costos de infraestructura operativa y obtener mejor visibilidad del

buen funcionamiento de las aplicaciones (F5, Optimize WAN and LAN Application Performance with TCP Express, 2007). Sin duda la ventaja principal de la optimización de enlaces es la mejora de su rendimiento, lo que genera una transmisión de datos más rápida entre los extremos del enlace.

Las técnicas de optimización de enlaces aprovechan una variedad de componentes para minimizar las limitaciones mencionadas, asegurando la entrega del tráfico de forma escalable y con un rendimiento de aplicación máxima. Esto incluye la mitigación de pérdidas, reducción de latencia y configuración de parámetros de QoS (calidad de servicio) del enlace (Blue Coat, WAN Optimization for Today and Tomorrow, 2010).

Estas características permiten aprovechar los sistemas de comunicaciones inalámbricos existentes, al obtener todos los beneficios y capacidades de las redes cableadas, anulando los efectos causados por interferencias y pérdidas propias, manteniendo la flexibilidad de la red y ofreciendo el mejor rendimiento de extremo a extremo de forma económica y rentable (Silver Peak, WAN Optimization, 2014).

Cabe indicar que los equipos optimizadores de enlaces permiten trabajar con cualquier tipo de tecnología de transmisión, ya sea un sistema de comunicaciones cableado o inalámbrico, sin embargo, por los antecedentes mencionados y para poder verificar el verdadero rendimiento de los equipos, se considera un enlace inalámbrico de área extendida punto a punto como objeto de prueba para el presente proyecto debido a las limitaciones y problemas que presentan este tipo de enlaces.

### **1.3 Alcance del proyecto**

El alcance de este proyecto involucra el análisis y optimización del rendimiento de enlaces inalámbricos de área extendida punto a punto, utilizando hardware dedicado. Comprende el estudio de las características de funcionamiento y técnicas

de los equipos optimizadores de red, así como también el análisis de los resultados y parámetros obtenidos del rendimiento del enlace antes y después de la optimización.

Para esto se define e implementa una solución de optimización sobre un enlace inalámbrico de área extendida punto a punto en el que se realizan pruebas y mediciones que permiten determinar los resultados del proyecto. El enlace es establecido de acuerdo a un escenario modelo que permite garantizar el correcto funcionamiento de la solución de optimización.

También se analizan las configuraciones necesarias para mejorar los parámetros de calidad del enlace en base al escenario de pruebas planteado.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar y optimizar el rendimiento de enlaces inalámbricos de área extendida punto a punto, utilizando hardware dedicado.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Investigar los antecedentes e información preliminar y determinar la importancia y alcance del proyecto.
- Estudiar y analizar las diferentes técnicas y características de funcionamiento de los equipos optimizadores de red.
- Determinar las características técnicas del equipamiento para el enlace inalámbrico de área extendida punto a punto y la solución de optimización a ser implementados.
- Planificar e implementar un enlace inalámbrico de área extendida punto a punto y una solución de optimización para el enlace.

- Realizar las pruebas necesarias y evaluar el rendimiento del enlace inalámbrico de área extendida punto a punto para obtener mediciones de los parámetros de desempeño del enlace.
- Determinar en base al estudio y resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

### **1.5 Estado del arte**

Las últimas tendencias en tecnologías de la información están afectando a las redes mundiales enormemente, haciendo que los usuarios reestructuren sus redes WAN (redes de área extendida), creando la necesidad de una solución de optimización de siguiente generación.

Durante la última década, la virtualización ha cambiado el concepto de centro de datos, mientras que el borde de la red se ha convertido en su mayor parte inalámbrica, donde priman los usuarios móviles y prácticamente no existe segmentación entre las redes internas y externas (Kerravala, 2012). Sin embargo, lo que no ha cambiado es cómo los usuarios están estructurando las redes WAN para dar lugar al surgimiento de tecnologías de nueva generación.

La gestión del rendimiento WAN es quizás la tarea más común a la que los administradores de red deben apelar, pues la capacidad de la red WAN suele ser de menor magnitud que la red LAN (red de área local). Si lo que se desea es aprovechar verdaderamente los recursos, las instituciones deben ver en la optimización de su red WAN una alternativa para un cambio que permita desarrollar sus funciones correctamente.

El mercado de la optimización WAN continúa evolucionando con tendencia hacia la estandarización, aunque mantiene diferencias de desempeño en la práctica. La principal innovación actual está ligada a plataformas de optimización que permitan a

las redes actuales poder migrar hacia plataformas más potentes dentro de una WAN optimizada (Kerravala, 2012).

Hasta hoy, la optimización WAN ha sido manejada como una tecnología metódica, que se utiliza para acelerar el rendimiento de aplicaciones como el correo electrónico y transferencia de archivos a través de WAN privadas. Actualmente este tipo de enlaces demandan un mayor volumen de recursos, especialmente si hablamos de enlaces inalámbricos punto a punto en los que se ofrecen diversos tipos de aplicaciones, los mismos que requieren más que sólo una tecnología de aceleración, impulsando así la necesidad de una gama más amplia de técnicas de optimización WAN.

Según la empresa consultora Gartner, en el informe publicado por (Pultz, 2011), las instituciones a nivel mundial podrían ahorrar entre los años 2010 y 2020 alrededor de 20 millones de dólares si utilizaran equipos de optimización WAN para aprovechar mejor el ancho de banda disponible en lugar de aumentarlo ante cualquier indicio de sobrecarga. Estos equipos pueden ofrecer reducciones de tráfico de al menos un 60%, permitiendo así retrasar las actualizaciones de capacidad en los enlaces por un tiempo estimado de tres años (CIO Solutions, 2014).

En general, la optimización de enlaces es un tema que está logrando atraer el interés de muchas empresas. Esto debido principalmente a las ventajas tanto de funcionamiento como de costos que permiten al usuario obtener mejoras considerables en su red de comunicaciones sin tener que incurrir en gastos excesivos e innecesarios.

En el mercado de la optimización de enlaces empiezan a perfilarse diversos enfoques debido a la rápida evolución de los equipos y técnicas utilizadas, por lo que es conveniente que el usuario tenga bien claro hacia dónde se dirigen los desarrollos en esta área y cuáles son los criterios más importantes a tener en cuenta a la hora de elegir una solución.

Los equipos de optimización WAN, son aplicables sobre prácticamente cualquier tipo de enlace, es decir, puede ser un enlace cableado o inalámbrico. Sin embargo, el presente estudio está enfocado en enlaces inalámbricos punto a punto sobre los cuales se experimenta la mayor cantidad de problemas, y que son por ende, los que generan un mayor consumo de recursos.

La naturaleza crecientemente distribuida y globalizada de las instituciones, la demanda de nuevas tecnologías y aplicaciones diseñadas para entornos LAN que necesitan ejecutarse sobre la WAN, y que permiten mantener comunicación con sus diferentes dependencias, despiertan el interés en la optimización de estos enlaces para garantizar los recursos que necesitan los usuarios (Kerravala, 2012).

Este interés, se está viendo reflejado en un aumento de la oferta comercial en cuanto a optimización WAN. Existen varios fabricantes de equipos optimizadores de enlaces WAN (WOC) que combinan técnicas especiales destinadas a mejorar el consumo de los recursos de este tipo de enlaces, garantizando el rendimiento de las aplicaciones.

### **1.5.1 Estudios relacionados**

La optimización de enlaces inalámbricos de área extendida (WWAN) no ha sido un tema de estudio generalizado. A nivel de enlaces WWAN punto a punto, no se han encontrado estudios previos que analicen los parámetros de rendimiento y definan soluciones de optimización en enlaces de este tipo.

Sin embargo, en (Chakravorty, Banerjee, Rodriguez, Chesterfield, & Pratt, 2004), se realiza un estudio muy similar, con la diferencia que se toma como objeto de prueba a enlaces WWAN celulares, es decir, escenarios GPRS, UMTS, CDMA 1x y CDMA 2000. Este informe muestra un estudio de las técnicas de optimización necesarias para mejorar el rendimiento y el impacto que se genera en redes comerciales de este tipo. Al final se muestra una comparativa entre los valores pre y post optimización.



También en (Nirmala, 2014), se encuentra un informe sobre las herramientas, técnicas y equipos de optimización WAN para analítica de datos basado en la nube. Este estudio realiza una descripción y comparación general de las técnicas existentes y equipos WOC que existen comercialmente en el mercado. Indica las tendencias del mercado de optimización, enfocado en virtualización de datos y servicios en la nube.

Los dos estudios hasta ahora mencionados, sirven como base principal para realizar el presente trabajo de investigación, tomando como referencia la metodología utilizada y los resultados obtenidos, para realizar las diferentes pruebas de rendimiento y optimización sobre el enlace WWAN punto a punto.

Otros estudios encontrados realizan comparativas entre diferentes equipos optimizadores de enlaces WAN para cuantificar los beneficios que presenta uno sobre otro aplicándolos en un enlace WAN no definido o bien simulando el escenario de trabajo, como en (Suárez Armijos, 2012) o (Broadband-Testing, 2011).

Existe poca referencia de consulta acerca del funcionamiento de los equipos WOC en enlaces WWAN punto a punto, por lo que se puede considerar el presente trabajo de investigación como referencia para futuros estudios sobre optimización de enlaces de este tipo.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Optimización WWAN

En el entorno empresarial de hoy en día, la red es sin duda más importante que la oficina física como tal. Las redes son la columna vertebral que mantiene negocios en conjunto, sobre todo cuando las operaciones se extienden más allá de las fronteras de un mismo espacio físico. Si una institución maneja varias sucursales, soporta una fuerza de trabajo móvil, utilizando los recursos fuera de las instalaciones donde se encuentran los equipos principales de aplicación y almacenamiento.

En tiempos anteriores, el tráfico que fluía a través de la LAN era relativamente ligero y a menudo basado en texto simple, pero a medida que la actividad de red se expande en el archivo de datos, voz y multimedia, los enlaces WAN son cada vez más pequeños e insuficientes para transmitir toda la información generada.

Con cada vez mayor demanda por los recursos de la WAN, los usuarios cuentan con dos opciones para prevenir ralentizar el rendimiento y evitar la disminución de la productividad:

- Invertir en enlaces WAN más rápidos - El aumento de ancho de banda a través de enlaces privados es una propuesta costosa.
- Mejorar la eficiencia de la red - En pocas palabras, enviar menos datos a través del ancho de banda existente, mientras se mantiene o mejora el nivel de funcionalidad.

Esta mejora en la eficiencia de la red se la conoce como optimización WAN (Ipanema, WAN OPTIMIZATION, 2014).

Los enlaces WWAN comprenden una extensión geográfica relativamente extensa, y generalmente permiten que diferentes instituciones puedan interconectarse utilizando una misma red de comunicaciones. Haciendo uso de este tipo de enlaces se pueden conectar diferentes localidades utilizando conexiones satelitales o con antenas de radio que pueden trabajar con distintas tecnologías de transmisión (Becta, 2001).

Estos enlaces son mucho más flexibles y fáciles de instalar, por lo que representan la solución ideal para cubrir distancias considerables que no serían tan sencillas si se utilizara medios guiados.

Uno de los tipos de redes WAN inalámbricas es por medio de conexión a satélites, los cuales enlazan una o más estaciones base, para la transmisión y recepción, conocidas como estaciones terrestres. Los satélites utilizan una banda de frecuencias para recibir la información, luego amplifican y repiten la señal para enviarla en otra frecuencia (Becta, 2001) (Fernandez Barcell, 2014).

Sin embargo, la forma más común de redes WAN inalámbricas en nuestro medio, es utilizando radios que se interconectan para comunicar dos o más localidades separadas geográficamente por grandes distancias, como se muestra en la figura 1, en donde el uso de redes cableadas resultaría difícil de implementar. A este tipo de enlaces se los denomina enlaces WWAN PTP (punto a punto).



**Figura 1. Enlace WWAN PTP.**

Al ser enlaces que transportan gran cantidad de información, que en la mayoría de casos es información sensible como datos en tiempo real o aplicaciones multimedia, se vuelve la región más delicada de toda la red de comunicaciones, pues si no se

garantiza un correcto desempeño en este enlace, probablemente los usuarios que deseen acceder remotamente a los servicios ofrecidos no obtengan el resultado deseado.

Además hay que tener en cuenta todas las desventajas propias de un enlace inalámbrico, especialmente teniendo en cuenta la saturación del espectro radioeléctrico y los grandes obstáculos existentes que generan pérdidas en los enlaces de este tipo.

### **2.1.1 Importancia de optimizar la WWAN**

El uso creciente de aplicaciones multimedia como video, VoIP, y el correo electrónico sobre la red WAN, hace que sea necesario el incremento de ancho de banda sobre los enlaces existentes (Kerravala, 2012), especialmente si hablamos de enlaces WAN inalámbricos. Para combatir los problemas de rendimiento de los enlaces, se recomienda optimizar el rendimiento de las aplicaciones a nivel WAN.

Los problemas de rendimiento que comúnmente enfrentan los enlaces WWAN incluyen:

- Los costos de mejoras de ancho de banda son demasiado altos y no logran aumentar permanentemente el rendimiento del enlace.
- El uso de aplicaciones multimedia que requieren transmisiones en tiempo real se ve limitado o restringido debido al retardo existente y la pérdida de información.
- El uso de VoIP se limita cuando los usuarios se enfrentan rutinariamente a tartamudeo y estática durante su llamada.
- Las aplicaciones de Intranet ubicadas en el sitio central ofrecen un fácil acceso, pero con malos resultados.

El aumento del tráfico junto con los diferentes requisitos de desempeño de las aplicaciones, más el desajuste existente entre la capacidad de la red LAN y la red WAN, provocan la disminución en el rendimiento de las aplicaciones y la pérdida de información crítica. El crecimiento del tráfico se debe a las tendencias en aplicaciones, redes y hábitos de los usuarios, como por ejemplo uso de mensajería instantánea, descargas P2P, aplicaciones triple play, etc. (Cisco, Visual Networking Index (VNI) Forecast de Cisco® (2011-2016), 2012).

En respuesta al incremento de la red y las demandas del usuario, las soluciones de optimización son una buena elección debido a las ventajas que ofrece para contrarrestar los efectos adversos generados en los enlaces WWAN.

Estas soluciones de optimización monitorean, controlan, aceleran, y gestionan el rendimiento de los enlaces. Estos cuatro elementos se complementan entre sí para mitigar los problemas de rendimiento presentes en la WWAN (Packeteer, 2005).

#### **a) Visibilidad del enlace**

Identifica qué aplicaciones atraviesan el enlace, qué porcentaje de capacidad consumen, qué tan bien funcionan, y dónde se originan los retrasos.

Tener visibilidad del enlace permite detectar y clasificar las aplicaciones para determinar prioridades y poder aplicar técnicas de QoS. También identifica los usuarios, servidores y los destinos del tráfico generado. Además analiza el uso del ancho de banda, tiempo de respuesta y fuentes de retraso esenciales para un buen funcionamiento de un enlace WWAN.

#### **b) Control de la capacidad del enlace**

Basado en políticas de asignación de ancho de banda se logra aprovechar al máximo el rendimiento de las aplicaciones sobre la WWAN. De esta forma se protege las aplicaciones críticas limitando el uso de tráfico recreativo y bloqueando el tráfico malicioso.

Dos tecnologías clave para obtener control de la capacidad del enlace son la gestión de ancho de banda y QoS.

### c) Aceleración del tráfico

La aceleración del tráfico permite que más datos fluyan a través del enlace WWAN, liberando ancho de banda para las aplicaciones críticas que más lo necesitan. Además permite que la información se transmita a través de distancias más largas, es decir sobre enlaces de alta latencia sin generar pérdida de paquetes ni distorsión de la señal.

Se aprovecha las diferentes técnicas de aceleración para superar los problemas de rendimiento no identificados, incluido el bajo rendimiento de aplicaciones críticas como VoIP y transmisiones multimedia.

### d) Administración del enlace

Una correcta administración del enlace permite crear informes y gestionar los equipos de forma centralizada, utilizando un sistema de información y gestión de políticas de acuerdo a las necesidades del enlace WWAN.



Figura 2. Ventajas de optimizar la WWAN.

### **2.1.2 Ventajas**

Además de las ventajas ya expuestas anteriormente, y que se ilustran en la figura 2, la optimización WAN permite reducir los costos de TI (tecnologías de información) y mejorar la seguridad de los datos, permitiendo la centralización de servidores y sistemas de almacenamiento.

Además, mejora el rendimiento y la fiabilidad de copias de seguridad, replicación y recuperación de información sensible a través del enlace WAN (Sturt, 2013).

Otra ventaja al momento de optimizar la WAN, tiene que ver con la entrega de aplicaciones de forma segura y con rendimiento mejorado respecto a los métodos de aceleración de aplicaciones existentes (Sturt, 2013) (Svendblad, 2013).

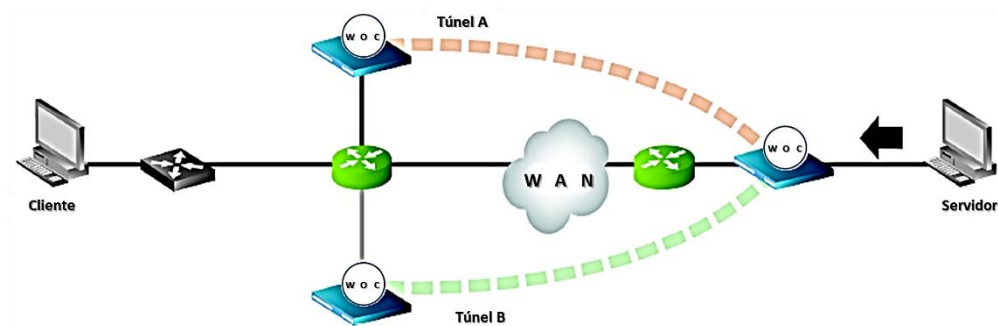
La implementación de una solución de optimización WAN no requiere de ningún cliente, servidor o reconfiguración de las aplicaciones existentes, por lo que su despliegue se vuelve rápido y sencillo en una infraestructura ya existente.

## **2.2 Teoría de operaciones**

En esta sección se describe cómo los equipos WOC optimizan el tráfico de un enlace utilizando la definición de flujos con criterios de coincidencia sobre políticas de enrutamiento, QoS y optimización. También se describen las técnicas para la gestión del tráfico del enlace mediante el uso de ACLs definidas por el usuario (Silver Peak, Appliance Manager Operator's Guide, 2012).

Los equipos WOC generalmente están interconectados por túneles virtuales que transportan el tráfico optimizado como se indica en la figura 3. Las políticas controlan cómo el equipo filtra los paquetes generados en la LAN y los convierte en flujos, y cuándo un flujo:

- es dirigido hacia un túnel,
- es procesado.
- continúa hacia la siguiente política, o
- es desechado.



**Figura 3. Túneles virtuales entre dispositivos WOC.**

El equipo WOC cuenta con políticas separadas para el enrutamiento, la optimización y las funciones de QoS de los flujos. Estas políticas utilizan reglas priorizadas, conocidas como entradas, para ordenar el tráfico. Las entradas creadas se comprueban con las características definidas en cada una de las políticas del equipo WOC (Fortinet, 2014).

Las políticas actúan de forma independiente una de la otra y describen cómo el dispositivo se encarga de los paquetes LAN que recibe. De esta forma, la política de:

- Enrutamiento** - Permite identificar qué tráfico se va a optimizar, qué tráfico no se va a optimizar, y qué tráfico se desechará.
- QoS** - Permite definir las prioridades en el tráfico generado y cómo se debe tratar los diferentes flujos de acuerdo a los criterios de coincidencia o marcas DSCP (código de servicios diferenciados).
- Optimización** - Permite asignar una o varias técnicas de optimización a un flujo determinado.



### 2.2.1 Criterios de coincidencia

Dentro de una política, el equipo WOC busca secuencialmente la primera coincidencia, y cuando la encuentra, realiza la acción asociada. Si no hay entradas configuradas por el usuario que coincidan con la búsqueda, entonces no se aplica optimización para el flujo en análisis.

Los criterios de coincidencia se basan en la combinación de una o más de las siguientes características de cada paquete generado (Silver Peak, Appliance Manager Operator's Guide, 2012):

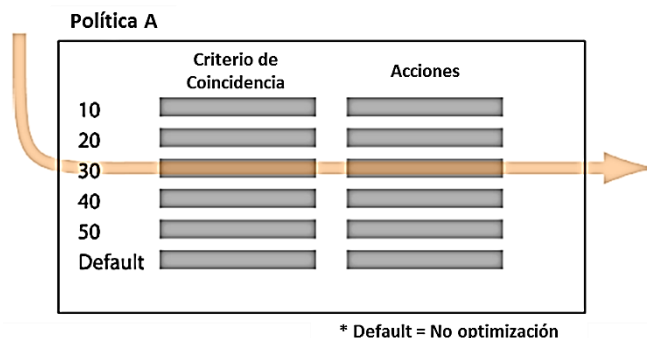
- Protocolo.
- Dirección IP de origen.
- Dirección IP de destino.
- Puerto de origen.
- Puerto de destino.

Además también se pueden filtrar los paquetes con respecto a las inscripciones DSCP originales, según la calidad en la comunicación que requieren los datos que se transportan.

Cada tipo de política tiene diferentes acciones disponibles para cuando encuentra una coincidencia e incluyen los siguientes parámetros:

- Prioridad.
- Protocolo.
- Dirección IP de origen y máscara de red.
- Dirección IP de destino y máscara de red.
- Aplicación.
- Puertos origen y destino.
- DSCP.

- VLAN.



**Figura 4. Filtrado por criterios de coincidencia.**

Por ejemplo, como indica la figura 4, si el dispositivo WOC encuentra una coincidencia en la tercera entrada de la política A con prioridad 30 que tiene como acción resultante la optimización del flujo generado por DNS (servidor de nombres de dominio), dicho flujo será optimizado de acuerdo a la política asociada.

Si al contrario, un paquete dirigido hacia el host 192.168.100.12 con máscara de red 255.255.255.0 no encuentra ninguna coincidencia, entonces ese flujo pasa por el enlace sin ser optimizado.

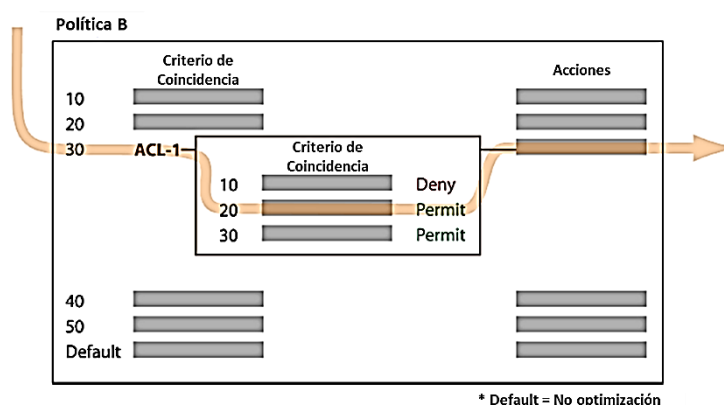
### 2.2.2 Listas de control de acceso

Las ACLs (listas de control de acceso) son útiles para crear criterios de coincidencia reutilizables. En otras palabras, se puede utilizar la misma ACL como condición de coincidencia en más de una política, ya sea de enrutamiento, QoS, o de optimización.

Las ACLs tienen las siguientes características:

- Una ACL se compone de una o más reglas ordenadas de control de acceso.

- Las reglas proceden secuencialmente, basadas en el número de prioridad único asignado durante su creación.
- Se puede reordenar las reglas de una ACL cambiando su prioridad.
- Cada regla de control de acceso se compone de dos partes:
  - La primera parte especifica el filtro según la dirección IP de origen, dirección IP de destino, y aplicación. Se aplica la regla para un paquete en particular sólo si el paquete coincide con todas las condiciones enunciadas.
  - La segunda parte especifica la acción: ya sea permitir o denegar.
    - Permitir admite el flujo de tráfico para aplicar la acción asociada a la entrada coincidente (ver figura 5).
    - Denegar impide el procesamiento del flujo por esa ACL, específicamente (ver figura 6).
- Para activar una ACL creada, se la debe asociar a una política activa.
- Cuando se crean reglas de ACL, se debe declarar primero las condiciones de denegación. Además, es mejor dar prioridad a las reglas menos restrictivas sobre las más restrictivas.
- No se puede eliminar una ACL si una política la está utilizando.



**Figura 5. ACL positiva.**

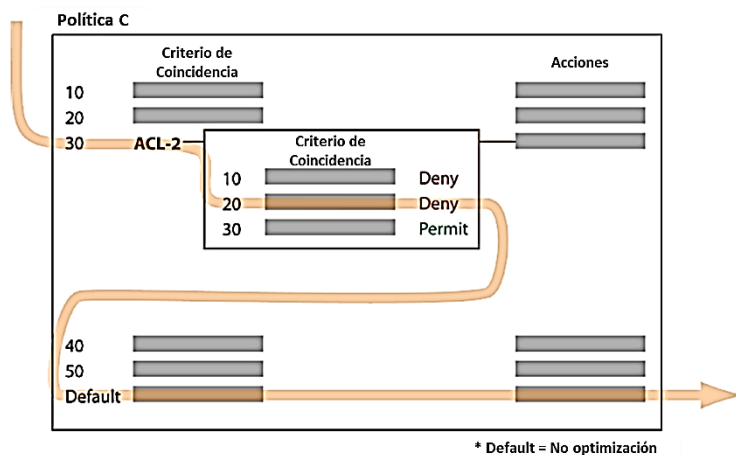


Figura 6. ACL negativa.

### 2.3 Política de enrutamiento

Al igual que en todas las políticas, la política de enrutamiento está compuesta por entradas que se comparan con los flujos mediante criterios de coincidencia. En la política de enrutamiento, las acciones determinan si un flujo individual es o no optimizado.

La única forma de optimizar el tráfico es dirigiendo los flujos deseados hacia el túnel de optimización. La figura 7 muestra cómo el dispositivo WOC procesa un flujo en base a una política de enrutamiento.

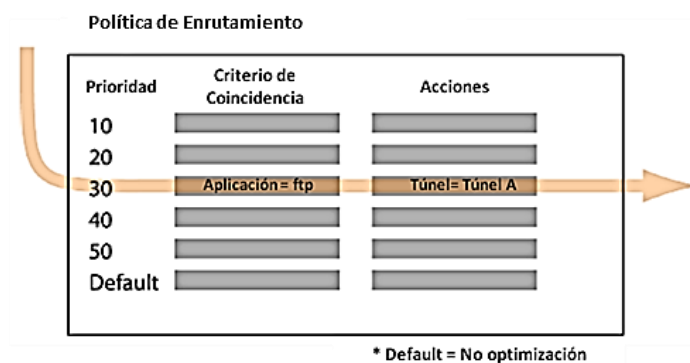
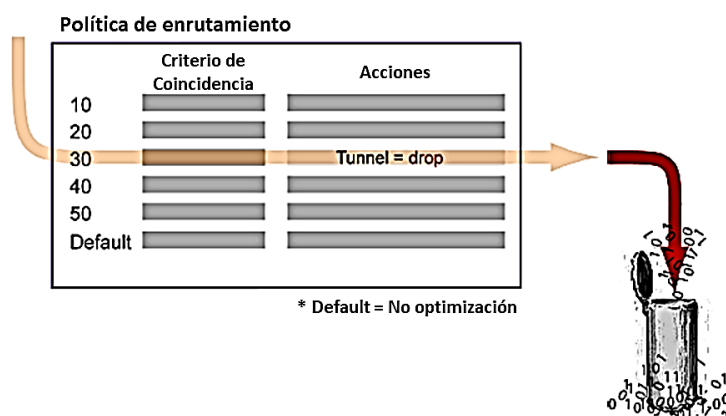


Figura 7. Política de enrutamiento.

La política de enrutamiento comprueba el tráfico entrante con los criterios de coincidencia de forma secuencial. Las entradas 10 y 20 no coinciden con el flujo ftp, pero sí lo hace la entrada 30. Entonces, la política de enrutamiento aplica las acciones asociadas a la entrada 30 al flujo ftp. En este caso, se envía el flujo a través del túnel A y pasa a manos de la política de QoS.



**Figura 8. Exclusión de flujos.**

Una vez que el flujo coincide con una entrada, se deja de examinar las demás entradas de la política. Si el flujo coincide con una entrada que indica excluir (drop) como en la figura 8, el dispositivo WOC suspende la comprobación del flujo y lo desecha, es decir, lo excluye del proceso.

### 2.3.1 Handshaking en paquetes TCP

Para el tráfico TCP, la negociación o handshake empieza con el envío de paquetes de control TCP, que en el proceso de establecimiento de la comunicación, determinan qué túnel usar ya que estos paquetes inician la conexión.

La figura 9 detalla la secuencia de actividades que se realizan:

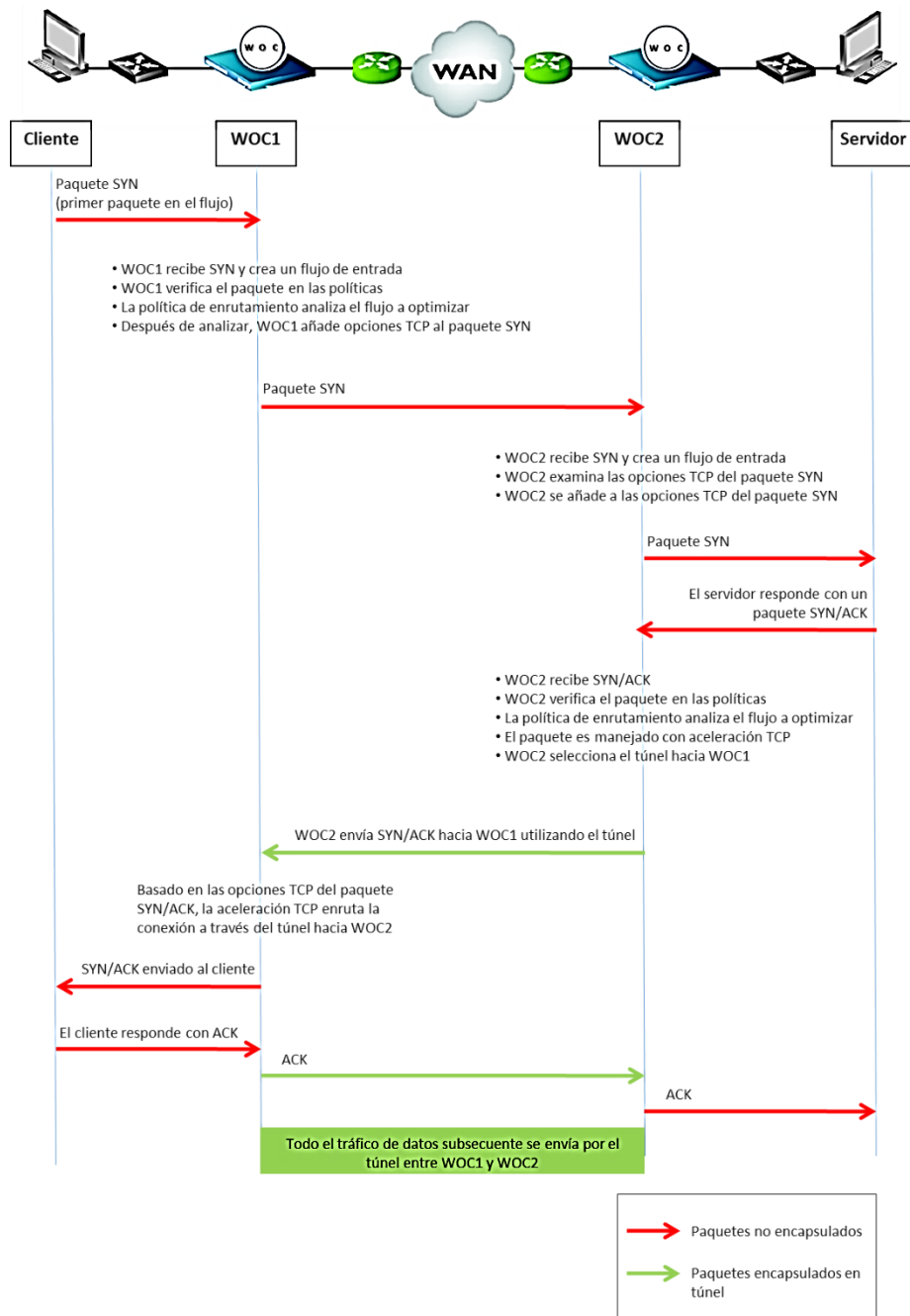


Figura 9. Handshake TCP.

### 2.3.2 Handshaking en paquetes UDP

La negociación para tráfico UDP requiere que al menos 12 paquetes se transmitan en cada dirección para optimizar el flujo. El tráfico UDP unidireccional no es considerado en este proceso.

La figura 10 detalla la secuencia de actividades que se realizan:

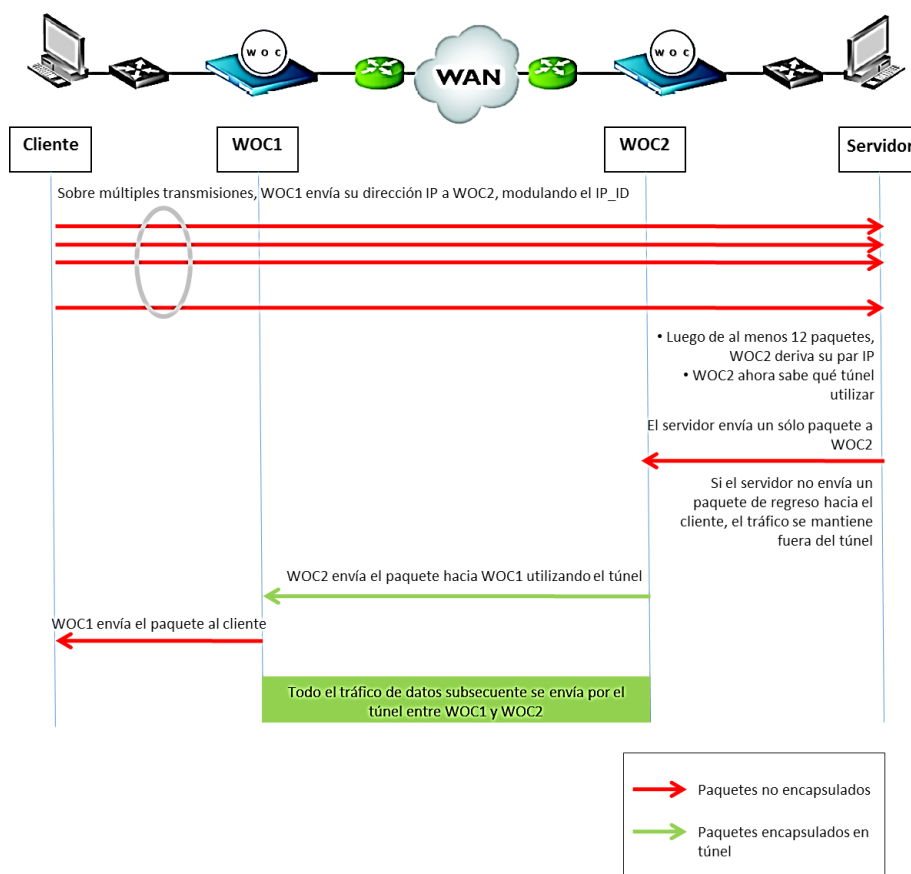


Figura 10. Handshake UDP.

## 2.4 Política de QoS

El uso eficaz de QoS asegura que el ancho de banda se distribuya adecuadamente cuando un tráfico mixto con diferentes niveles de prioridad, debe ser entregado a través de un enlace limitado. Si el enlace WAN está correctamente diseñado, QoS se gestionará en cada punto considerado potencial “cuello de botella”.

Es especialmente importante implementar QoS en enlaces WWAN debido a que el equipo WOC es el único elemento que recoge las métricas en tiempo real de información sensible, como la pérdida de paquetes y delay, fundamentales en enlaces de este tipo.

El propósito principal de aplicar QoS sobre un enlace WWAN es para optimizar su rendimiento en presencia de deficiencias de red conocidas, y en el caso de que la demanda supere la capacidad del enlace (ancho de banda), dar preferencia a flujos sensibles de acuerdo a los criterios de coincidencia de la política.

Cuando existe una coincidencia en la política de QoS, las acciones determinan cómo se marcan y ponen en cola los flujos entrantes. En la figura 11, se observa cómo un flujo es manejado por una política de QoS.

Antes de que el flujo llegue al túnel y luego del proceso de optimización, la política de QoS revisa sus entradas, aplica el marcado DSCP especificado y le dice al flujo qué clase de tráfico del túnel debe usar. Al final, se direcciona al flujo hacia la política de optimización.



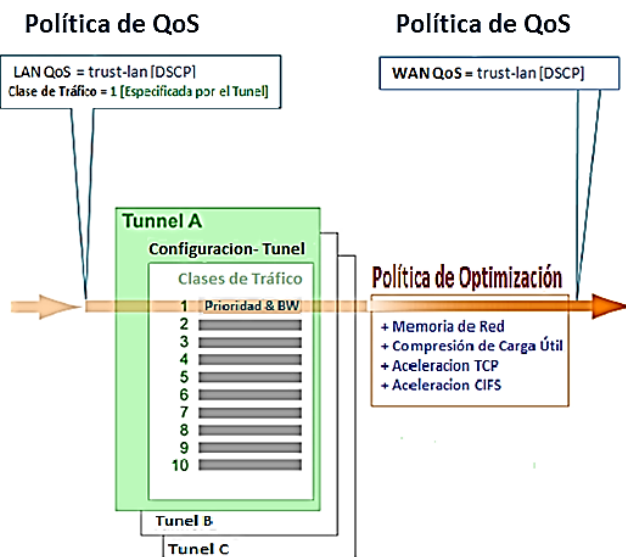


Figura 11. Política de QoS.

### 2.4.1 Marcado y manejo de paquetes

Todos los flujos que no son excluidos de forma explícita por la política de enrutamiento, están sujetos al marcado DSCP que realiza la política de QoS. Las marcas DSCP refuerzan las políticas de QoS de extremo a extremo a lo largo de un enlace. El marcado DSCP (ver figura 12), se lo realiza de la siguiente forma:

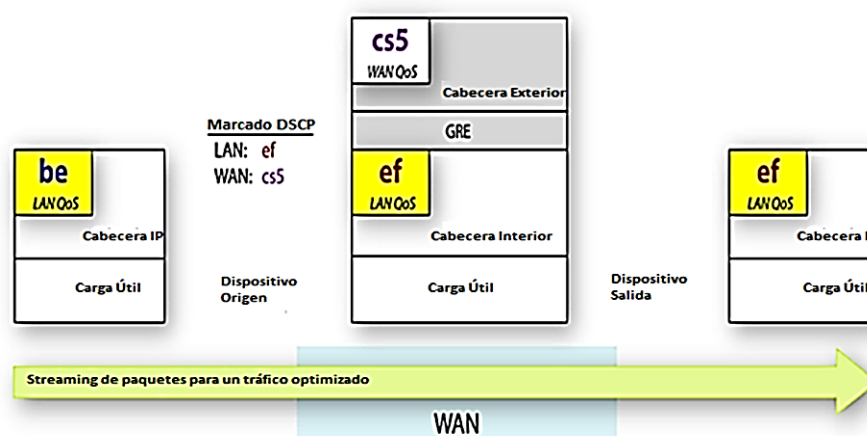


Figura 12. Marcado DSCP por defecto.

En esta etapa, el dispositivo WOC encapsula el tráfico optimizado. Este proceso añade una cabecera IP a los paquetes que viajarán a través de la WAN.

- El equipo WOC origen recibe el paquete de la LAN con un marcado DSCP por defecto.
- Basándose en los criterios de coincidencia, la política de LAN QoS aplica una configuración de trust-lan, dejando el marcado DSCP intacto, en este caso como be (best effort). Este marcado forma parte de la cabecera IP del paquete original.
- Como la política de WAN QoS es de configuración trust-lan, el dispositivo WOC también establece los bits de WAN QoS como be. Este marcado sin embargo, forma parte de la cabecera IP del flujo encapsulado.
- Cuando el paquete alcance el WOC destino, el dispositivo utilizará el marcado externo del flujo para manejarlo y des encapsularlo, y luego, enviará el paquete original hacia la LAN con su marcado DSCP inicial.

Si la configuración DSCP LAN o WAN por defecto cambia, entonces se realiza el siguiente proceso, como se indica en la figura 13:



**Figura 13. Marcado DSCP con variaciones.**

- El equipo WOC origen recibe el paquete de la LAN con un marcado DSCP diferente a trust-lan.

- Basándose en los criterios de coincidencia, la política de LAN QoS aplica la configuración correspondiente, dejando en este caso el nuevo marcado DSCP como ef (expedited forwarding), que formará parte de la cabecera IP del paquete original.
- Como el marcado de la política de WAN QoS también es distinto, el dispositivo WOC establece los bits de WAN QoS de acuerdo al nuevo marcado DSCP, en este caso como cs5 (class selector 5). Este nuevo marcado, forma parte de la cabecera IP del flujo encapsulado.
- Cuando el paquete alcance el WOC destino, el dispositivo utilizará el marcado externo del flujo para manejarlo y des encapsularlo, y luego, enviará el paquete original hacia la LAN con su nuevo marcado DSCP.

#### 2.4.2 Código de servicios diferenciados

Los servicios diferenciados proporcionan un método que garantiza la calidad de servicio basado en el procesamiento del tráfico con prioridades relativas del campo ToS (tipo de servicio). Está definido en (RFC 2474, 1998) y (RFC 2475, 1998), y reemplaza la especificación original para definir la prioridad del paquete descrita en (RFC 791, 1981).

Este método aumenta el número de niveles de prioridad definibles al reasignar los bits de un paquete IP para que tengan un marcado prioritario. Los seis bits más significativos del campo ToS son conocidos como DSCP, mientras que los dos restantes (menos significativos) conocidos como bits ECN, no son utilizados actualmente (ver figura 14).

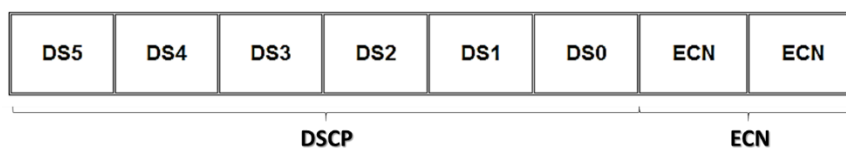


Figura 14. Campo ToS.

El (RFC 2474, 1998) recomienda la combinación para la transmisión de paquetes best effort y class selector. El mecanismo de best effort (mejor esfuerzo) no garantiza que los datos lleguen a su destino, es decir, no se ofrece al usuario una determinada calidad de servicio; mientras que class selector (selector de clase) ofrece 7 niveles de prioridad para los paquetes de acuerdo con los 3 bits más significativos del octeto.

El (RFC 2597, 1999) recomienda las combinaciones a utilizar para assured forwarding (envío asegurado) que contiene dos funciones de QoS independientes, la primera es queueing (encolamiento), y la segunda define congestion avoidance (control de congestión). Assured forwarding (AF) no garantiza que cada paquete sea entregado y tampoco reserva ningún ancho de banda mínimo para cada clase.

El comportamiento de AF se resume de la siguiente forma (ver tabla 1):

- Se pueden utilizar hasta 4 diferentes colas.
- Se dispone de 3 umbrales de congestión dentro de cada cola para determinar cuándo se empieza a descartar diferentes tipos de paquetes.
- Para marcar los paquetes, se dispone de 12 valores DSCP AF diferentes.

**Tabla 1.**  
**Assured forwarding.**

	Baja probabilidad descarte	Media probabilidad descarte	Alta probabilidad descarte
Cola 1	AF11	AF12	AF13
Cola 2	AF21	AF22	AF23
Cola 3	AF31	AF32	AF33
Cola 4	AF41	AF42	AF43

Finalmente, el (RFC 3246, 2002) recomienda la combinación para expedited forwarding (envío acelerado), que también sugiere dos funciones de QoS. La primera es queueing (encolamiento), que debe ser utilizado para minimizar el tiempo que un paquete pasa por una cola y la segunda es la vigilancia (policing).

La función de EF es proveer las herramientas necesarias para asegurar un servicio de extremo a extremo con bajas pérdidas, reducción del retardo y jitter, y un ancho de banda asegurado.

A continuación se muestra la tabla 2 con las definiciones de los códigos DSCP disponibles:

**Tabla 2.**  
**Códigos DSCP.**

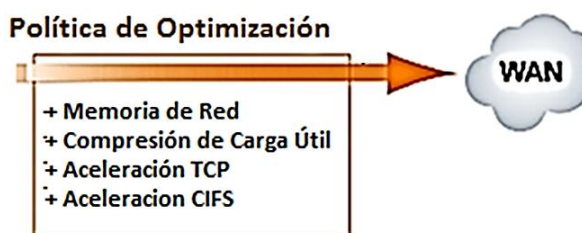
<b>Marca DSCP</b>	<b>Nombre</b>	<b>Código</b>	<b>Número</b>
be	Best Efford	000000	DSCP 0
af11	Assured Forwarding 11	001010	DSCP 10
af12	Assured Forwarding 12	001100	DSCP 12
af13	Assured Forwarding 13	001110	DSCP 14
af21	Assured Forwarding 21	010010	DSCP 18
af22	Assured Forwarding 22	010100	DSCP 20
af23	Assured Forwarding 23	010110	DSCP 22
af31	Assured Forwarding 31	011010	DSCP 26
af32	Assured Forwarding 32	011100	DSCP 28
af33	Assured Forwarding 33	011110	DSCP 30
af41	Assured Forwarding 41	100010	DSCP 34
af42	Assured Forwarding 42	100100	DSCP 36
af43	Assured Forwarding 43	100110	DSCP 38
cs1	Class Selector 1	001000	CS1
cs2	Class Selector 2	010000	CS2
cs3	Class Selector 3	011000	CS3
cs4	Class Selector 4	100000	CS4
cs5	Class Selector 5	101000	CS5
cs6	Class Selector 6	110000	CS6
cs7	Class Selector 7	111000	CS7
ef	Expedited Forwarding	101110	DSCP 46

## 2.5 Política de optimización

La política de optimización utiliza diferentes técnicas para mejorar el rendimiento de aplicaciones a través de la WAN.

En la política de optimización, cuando existe una coincidencia, las acciones determinan qué técnicas se aplican al paquete para mejorar el rendimiento de la aplicación o protocolo.

En la figura 15, se observa cómo un flujo es manejado por una política de optimización.



**Figura 15. Política de optimización.**

Luego que el flujo pasa por la política de QoS, la política de optimización le indica al equipo WOC las diferentes técnicas de optimización que se deben aplicar, así, el dispositivo WOC retiene y pone en cola el flujo optimizado que saldrá de la interfaz física hacia la WAN.

Existe una variedad de técnicas de optimización, no todas disponibles en los equipos WOC (depende del fabricante), sin embargo, las técnicas más comunes de aceleración incluyen mejoras a nivel TCP, compresión avanzada, deduplicación a bajo nivel, caching y optimización de ciertos protocolos de aplicación (Sánchez, 2011). A continuación revisaremos las principales técnicas de optimización.

### 2.5.1 Integridad de red

La integridad de red según (Agencia Española de protección de datos, 2010) se puede definir como *“la garantía de la exactitud de la información frente a la alteración, pérdida o destrucción, ya sea de forma accidental o fraudulenta”*.

Se refiere a la fidelidad de la información que debe mantenerse entre el emisor y el receptor. La transmisión de datos especialmente sobre enlaces WWAN, está limitada debido a las pérdidas propias que este tipo de enlaces generan. Este problema potencialmente peligroso puede ser corregido con técnicas de integridad que garanticen que la información recibida sea fiel copia de la información enviada.

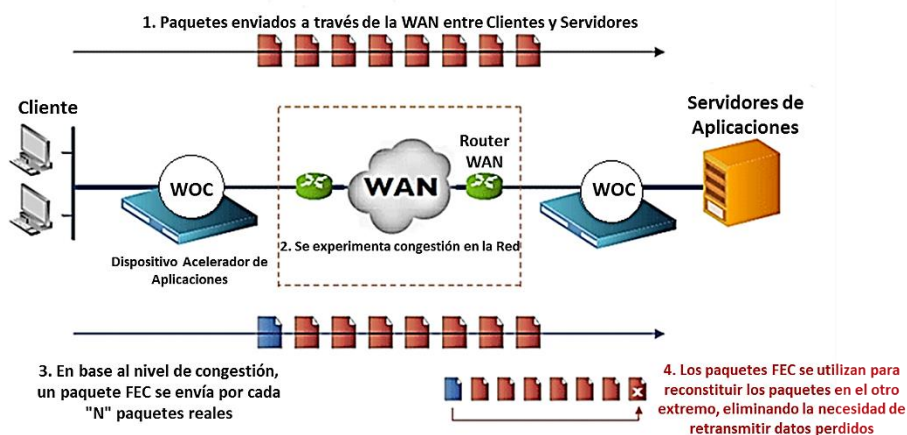
Para mejorar la integridad de un enlace WAN, se pueden utilizar los siguientes mecanismos:

- **Corrección de errores hacia adelante**

FEC, por sus siglas en inglés, es un mecanismo que permite la corrección de errores en el receptor sin necesidad de retransmisión de la información original. Permite que aplicaciones sensibles como VoIP o streaming multimedia sean utilizables a través de la WWAN (Johanson, 2010).

La posibilidad de corregir errores sin retransmisión se consigue añadiendo algunos bits de redundancia a la secuencia de datos, utilizando un algoritmo predeterminado (ver figura 16). Los principales tipos de codificación utilizados en FEC son:

- Códigos de bloque.
- Códigos convolucionales.



**Figura 16. FEC.**

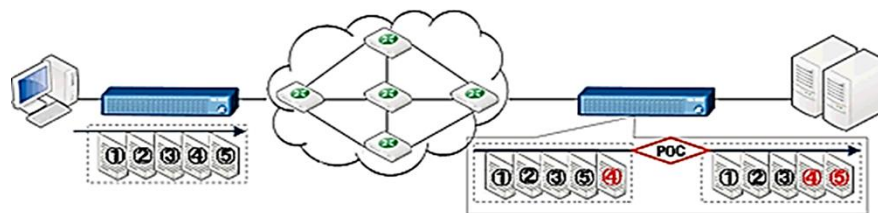
El dispositivo WOC ajusta de forma dinámica la frecuencia con la que se introducen los bits de redundancia en respuesta a las variantes condiciones del enlace.

FEC reduce el número de paquetes perdidos e incrementa la efectividad de la comunicación, evitando la necesidad del reenvío durante la transmisión (Johanson, 2010). Sin embargo, utilizar FEC implica sacrificar la capacidad del enlace, pues el ancho de banda requerido es mayor debido a que los datos redundantes tienen que ser también transmitidos. Por lo tanto FEC sólo se recomienda aplicar en situaciones en que las retransmisiones sean costosas o imposibles, especialmente en aplicaciones que demandan comunicación en tiempo real.

- **Corrección del orden de paquetes**

POC, (Packet Order Correction) por sus siglas en inglés, es una técnica que evita que los paquetes entregados pierdan su orden original. POC hace un resecuenciamiento de los paquetes sobre la marcha en el extremo de la WAN, para evitar la retransmisión que se produce cuando los paquetes llegan desordenados (ver figura 17).





**Figura 17. POC.**

POC realiza un marcado de los paquetes que van a ser transmitidos a través de la WAN. En este marcado, POC asigna a cada paquete una etiqueta única con un número secuencial que asegura que los paquetes sean recibidos en el orden correcto. Si un paquete llega en desorden, POC utiliza las etiquetas para reordenar adecuadamente los paquetes recibidos (IT Wiessen, 2014).

Al utilizar este mecanismo en un dispositivo WOC, se puede conseguir la escalabilidad necesaria para manejar un alto volumen de datos sin experimentar grandes niveles de latencia. POC se ejecuta en tiempo real y a través de todos los flujos IP desordenados (independientemente del protocolo de transporte).

- **Calidad de Servicio**

La gestión de QoS se puede resumir en los siguientes tres pasos:

1. Clasificación de paquetes en flujos de aplicación.
2. Mapeo de flujos de aplicación en clases de tráfico.
3. Encolamiento de las clases de tráfico.

QoS se utiliza para optimizar el rendimiento del enlace en presencia de alteraciones o deficiencias conocidas, y para dar un trato preferencial a ciertas clases de tráfico en el caso de que la demanda supere el ancho de banda disponible.

Cada aplicación tiene sus propios requisitos de entrega (latencia y jitter) por lo que QoS es indispensable en enlaces WAN que transportan varias aplicaciones al mismo tiempo. QoS asegura que cada aplicación sea clasificada y administrada

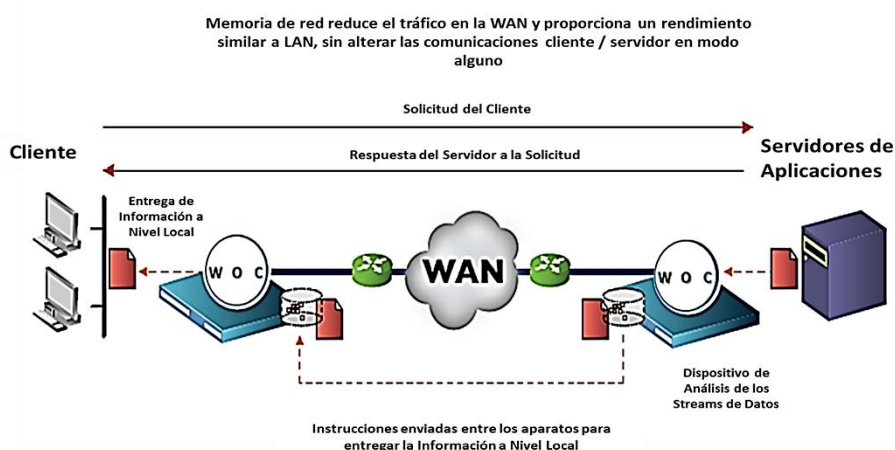
adecuadamente, haciendo uso eficiente de los limitados recursos de la WAN (Silver Peak, THE CASE FOR QUALITY OF SERVICE (QOS), 2014).

Los dispositivos WOC ofrecen una variedad de soluciones de QoS, incluida una sofisticada lógica de clasificación de aplicaciones con DPI (inspección profunda de paquetes) y una variedad de técnicas de marcado y encolamiento (Silver Peak, THE CASE FOR QUALITY OF SERVICE (QOS), 2014).

### 2.5.2 Memoria de red

Comprende las técnicas que proporcionan un rendimiento mejorado sobre el almacenamiento en caché, sin limitaciones operativas o de administración. Proporciona mejoras considerables en el rendimiento de casi cualquier aplicación.

Los dispositivos WOC utilizan los mecanismos de memoria de red para inspeccionar todo el tráfico entrante y saliente de la WAN (ver figura 18).



**Figura 18. Memoria de red.**

Cada dispositivo WOC examina todo el tráfico WAN y analiza los patrones de tráfico reales para luego almacenar una única instancia local de información (Silver Peak, Not Your Father's Cache, 2014).

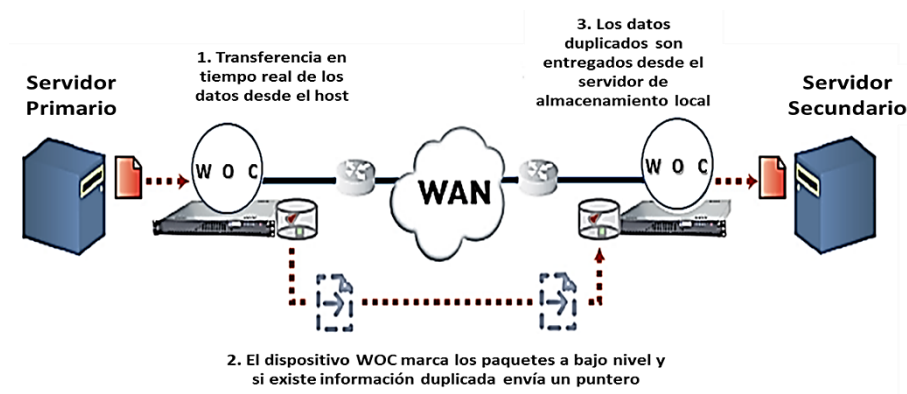
Los equipos WOC realizan una búsqueda en su instancia local para determinar si el flujo de tráfico en tiempo real coincide con el tráfico almacenado previamente. Si existe una coincidencia, un puntero de referencia se envía al dispositivo remoto, dándole instrucciones para entregar el patrón de tráfico de su instancia local.

- **Deduplicación**

La deduplicación de datos es una de las técnicas más importantes en cuanto a almacenamiento en los últimos años. Mediante la identificación de los segmentos de datos redundantes y almacenando una única instancia de información, esta tecnología reduce drásticamente el espacio de almacenamiento y permite que más datos sean protegidos (Silver Peak, WAN DEDUPLICATION: GETTING MORE BY SENDING LESS, 2014).

La deduplicación supera varios desafíos de la WAN en la actualidad, pero específicamente, esta tecnología ofrece los siguientes beneficios:

- Mejora los tiempos de transferencia de datos, sean TCP o UDP.
- Maximiza la eficiencia WAN eliminando transmisiones repetidas.
- Mejora significativamente la eficiencia del ancho de banda.
- Aumenta las distancias al reducir el impacto de la latencia.



**Figura 19. Deduplicación.**

Se puede definir deduplicación como el proceso de eliminar los datos redundantes a fin de reducir las necesidades de almacenamiento (ver figura 19). Este proceso implica la eliminación de datos duplicados, manteniendo una única copia de los datos a ser almacenados.

Los métodos de deduplicación se aplican generalmente para disminuir los requerimientos de almacenamiento y mejorar la eficiencia del ancho de banda. Estos métodos incluyen la deduplicación a nivel de:

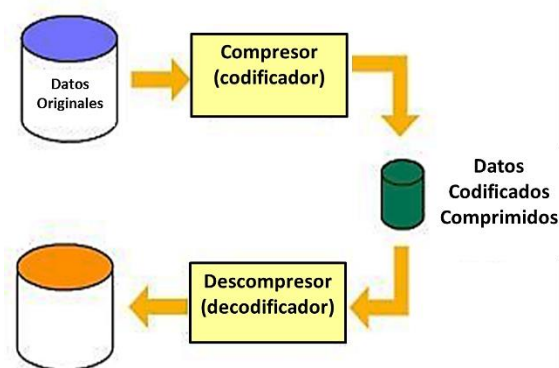
- Datos,
- Archivos,
- Bloque,
- Bit.

La deduplicación de datos es el método más utilizado, debido a que trabaja a nivel de archivo, bloque y bits. Este mecanismo mejora la protección de datos, acelera la velocidad del servicio y reduce sustancialmente los costos.

- **Compresión**

Compresión es la técnica de reducción de tamaño de los datos con el fin de ahorrar espacio o tiempo de transmisión. La información se codifica utilizando estrategias únicas que utilizan menos bits, reduciendo el uso de ancho de banda para la transmisión.

La compresión de datos funciona mediante la identificación de patrones en un flujo de datos, eligiendo un método más eficiente para representar la misma información (ver figura 20). Esencialmente, se aplica un algoritmo a los datos con el fin de eliminar la mayor cantidad de redundancia como sea posible (Cisco, WAN Compression FAQs, 2006).



**Figura 20. Compresión.**

La eficiencia y eficacia de un esquema de compresión se mide por su relación de compresión (relación entre el tamaño de datos sin comprimir y comprimidos). Una relación de compresión de 2:1 significa que los datos comprimidos es la mitad del tamaño de los datos originales.

Existe una gran cantidad de algoritmos disponibles con el fin de comprimir los datos; unos admiten pérdidas mientras que otros no lo hacen. Algunos algoritmos están diseñados para aprovechar las ventajas de un medio específico. Una de las ideas más importantes de la teoría de compresión es que existe un límite teórico, conocido como límite de Shannon, que ningún algoritmo de compresión puede superar y se lo considera “ideal” (Cisco, WAN Compression FAQs, 2006).

### **2.5.3 Aceleración de red**

Las técnicas de aceleración de red tienen como objetivo principal reducir los tiempos de latencia en un enlace WAN. Los equipos WOC mitigan el impacto de la latencia a través de la WAN mediante el uso de diversas técnicas de aceleración TCP. Estas herramientas ayudan a superar los retardos inherentes que obstaculizan el rendimiento de aplicaciones a través de una WAN (Silver Peak, Appliance Manager Operator’s Guide, 2012).

- **Optimización de latencia**

Los principales factores que determinan el rendimiento de un enlace son el ancho de banda y la latencia. Latencia es cualquier tipo de retardo que se produce en la red. Por lo general, la latencia se mide como el tiempo necesario para que un paquete viaje a través de un enlace de extremo a extremo, ida y vuelta.

Aunque el aumento de ancho de banda sea una solución obvia para mejorar el desempeño de un enlace, puede que no siempre funcione debido a la latencia inherente, por lo que la optimización de latencia se vuelve fundamental para mejorar su rendimiento. A través de los años se han desarrollado varios algoritmos para abordar el problema de la optimización de latencia.

A continuación se proporciona una breve descripción de algunos algoritmos de optimización de latencia. Estos algoritmos son propiamente algoritmos TCP con control de congestión (Hernández Fernández, 2012):

- ***TCP Tahoe y Reno/New Reno***

TCP Tahoe y TCP Reno/New Reno, comparten el hecho de que hacen uso de los algoritmos slow start, congestion avoidance y fast retransmit. Su comportamiento difiere en cómo detectan y reaccionan ante la pérdida de paquetes.

TCP Tahoe aumenta el tamaño de la ventana TCP y detecta congestión, sin embargo, es sensible a la pérdida de paquetes; una tasa de pérdida del 1% puede causar una disminución del rendimiento de hasta el 75%.

TCP Reno incluye también el algoritmo fast recovery, aunque su problema es que si dos o más segmentos se pierden, debe esperar el slot de tiempo de retransmisión para volver a enviarlos.

TCP New Reno mejora el desempeño de TCP Reno cuando existe pérdida de varios paquetes, reduciendo de esta forma la latencia del enlace.

- *TCP Vegas*

Este algoritmo utiliza el retardo en lugar de la pérdida de paquetes como base para optimizar la latencia. TCP Vegas basa su decisión en el valor del retardo de ida y vuelta (RTT). Si los valores de RTT calculados en tiempo real son menores que el valor base, el rendimiento requerido será menor que la capacidad de conexión y el flujo de tráfico será normal. Caso contrario, si el RTT calculado es demasiado alto, se detecta la congestión y ralentiza la velocidad a la que se envían los paquetes.

- *TCP Hybla*

Este algoritmo fue desarrollado específicamente para manejar las fluctuaciones en el rendimiento causadas por RTT altos, especialmente en las conexiones por satélite. TCP Hybla muestra un gran desempeño en el manejo de enlaces satelitales, muy conocidos por sus altos valores de latencia.

Existen otros algoritmos de optimización de latencia que son variantes de las condiciones específicas anteriores y están desarrollados para manejar pérdidas aleatorias y de usuarios móviles, específicamente en transmisiones inalámbricas.

## **2.6 Implementaciones comunes**

Los dispositivos WOC se pueden instalar en la ruta de datos (en línea) entre el switch LAN y el extremo WAN del enrutador. Este despliegue en línea es conocido también como modo bridge.

Alternativamente, los dispositivos WOC también se pueden instalar fuera de la ruta de acceso al enrutador WAN. En una implementación fuera de ruta, es necesario

el enrutamiento de los paquetes para su procesamiento en el equipo WOC. Un despliegue fuera de ruta es llamado también modo router.

### 2.6.1 Implementación en línea - modo bridge

En un despliegue en línea, el dispositivo WOC se inserta en el segmento de red existente entre el enrutador WAN y el switch LAN. En este modo, el equipo intercepta todos los paquetes destinados a la WAN (ver figura 21).

El equipo WOC optimiza los flujos de tráfico que la política de enrutamiento dirige hacia el túnel; el resto del tráfico pasa a través del equipo sin alterarse.

Este tipo de implementación no requiere ninguna modificación o cambio en la configuración de los equipos activos (switch o enrutador).

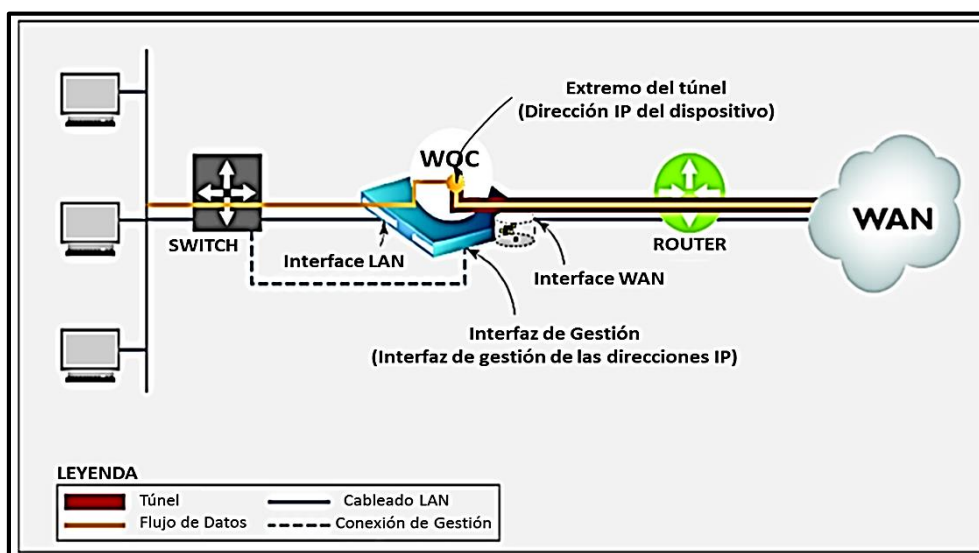


Figura 21. Modo bridge.

En caso de que el dispositivo WOC sufra algún fallo, el equipo se comporta simplemente como un cable de conexión del switch LAN directamente al enrutador WAN, y el tráfico seguirá fluyendo sin interrupciones.





## CAPÍTULO 3

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Materiales

Los materiales a utilizarse se eligen en base a las características del radioenlace propuesto en el escenario de trabajo de la figura 23. Se consideran parámetros importantes como la distancia del enlace, el tipo y altura de las antenas, potencia de transmisión y sensibilidad de recepción, temperatura, humedad y posibles obstáculos existentes en el sitio de implementación de la red.

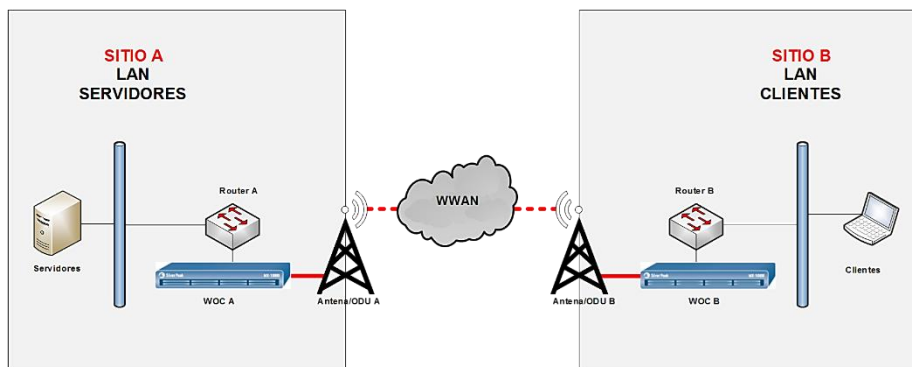


Figura 23. Escenario de trabajo.

#### 3.1.1 Optimizadores WWAN

En resumen, la optimización WAN se reduce a las tecnologías que controlan de forma activa y modifican el tráfico que viaja a través de enlaces WAN. La mejora en la eficacia de estos enlaces es el trabajo de un controlador de optimización WAN (WOC) (Ipanema, WOC (WAN Optimization Controllers), 2014).

Los dispositivos WOC están diseñados para ayudar a mitigar los efectos de la pérdida de paquetes, congestión de red y latencia, al tiempo que reducen la cantidad total de datos a transmitir, liberando así el enlace (Ipanema, WOC (WAN Optimization Controllers), 2014).



**Figura 24. Dispositivos WOC.**

Fuente: (SilverPeakWorks.com, 2014).

Los dispositivos WOC fueron concebidos inicialmente como equipos de hardware ubicados en cada extremo del enlace (figura 24). Hoy en día, los equipos WOC pueden ser dispositivos físicos, unidades instaladas en un centro de datos o bien dispositivos virtuales con software específico que se ejecuta en un servidor existente (Weiss, 2012).

Tradicionalmente, la mayoría de las implementaciones son simétricas, con un equipo WOC en cada extremo del enlace, pero también hay implementaciones asimétricas, donde se encuentra un sólo equipo WOC en el extremo del sitio central (Fortinet, 2014) (Silver Peak, Network Deployment Guide, 2012).

La optimización de datos puede ocurrir en diferentes capas de la pila OSI (ver figura 25), ya sea a nivel de red, transporte, sesión, presentación, a nivel de la capa de aplicación, o simplemente a nivel de la capa de enlace de datos (carga útil en sí).



**Figura 25. La pila OSI.**

Los optimizadores WAN pueden tener varios componentes como parte de la solución general de optimización. Dependiendo del fabricante y tecnologías utilizadas pueden ser dispositivos físicos (hardware) o virtuales (se pueden instalar sobre servidores ya existentes). Además cada solución contiene un paquete de software especializado para el manejo, configuración y administración de los equipos y red WAN.

Los equipos WOC se instalan en cada extremo de un enlace y por lo general se ubican detrás de los equipos enrutadores de borde de la red WAN. Estos dispositivos son compatibles con cualquier topología de red, por lo que brindan un ajuste perfecto a todos los posibles esquemas de red (Silver Peak, Network Deployment Guide, 2012).

- **Silver Peak NX-1700**

Los dispositivos WOC de Silver Peak de la serie NX, utilizan una variedad de técnicas de optimización de red en tiempo real que permiten obtener el máximo rendimiento de la WAN, a este conjunto de técnicas se las denomina arquitectura abierta de aceleración virtual (VXOA). Estas técnicas de optimización trabajan

principalmente en la capa de red, garantizando el máximo rendimiento de prácticamente cualquier aplicación sobre cualquier entorno WAN.



**Figura 26. Silver Peak NX-1700.**  
Fuente: (Silver Peak, NX-1000, 2014).

El dispositivo NX-1700 (ver figura 26) es compatible con enlaces WAN de hasta 4 Mbps de ancho de banda y 8000 conexiones simultáneas. Es un dispositivo físico de 1 unidad de rack (1-UR) que se puede montar sobre rack o en escritorio, lo que brinda flexibilidad para su instalación. Además no requiere ningún cliente, servidor o reconfiguración adicional de la red.

Las características de los equipos de la serie NX-1000 de Silver Peak, cuya versión comercial es la NX-1700 de Silver Peak, se describen en la tabla 3.

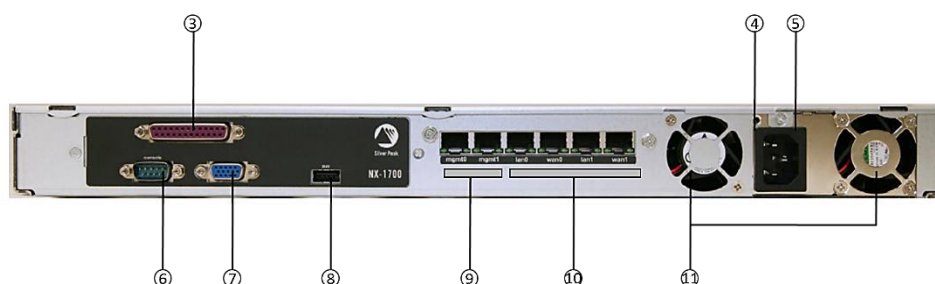
**Tabla 3.**  
**Características de los equipos NX-1700.**

<b>Unidad de disco</b>	Disco local de 500 Gb
<b>Fuente de poder - Potencia</b>	100-240VAC / 47-63Hz / 90W / 307BTU
<b>RAM</b>	Memoria ECC
<b>Redundancia de Red</b>	1+1 y N+1 con VRRP o WCCP
<b>Seguridad</b>	Encriptación de disco AES 128-bits Encriptación de red IPSec (AES 128-bits)
<b>Conectividad</b>	4 x 10/100/1000 LAN/WAN (2LAN/2WAN) 2 x 10/100/1000 administración; puerto serial RS-232
<b>Administración</b>	CLI a través de puerto de consola DB-9 vía SSH GUI disponible vía HTTP o HTTPS

Fuente: (Silver Peak, NX-1700 (specification sheet), 2014).



**Figura 27. Vista Frontal NX-1700.**



**Figura 28. Vista Posterior NX-1700.**

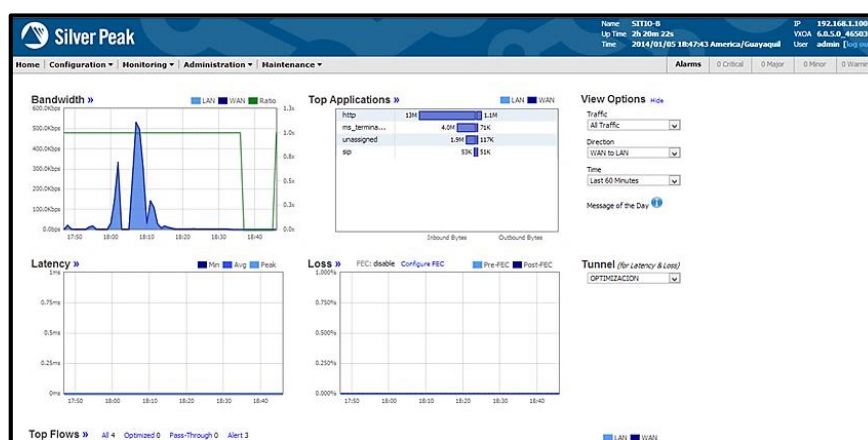
El detalle de los elementos que contienen los equipos Silver Peak NX-1700 (ver figuras 27 y 28), se describen en la tabla 4.

**Tabla 4.**  
**Elementos de los equipos NX-1700.**

1	Led de encendido
2	Switch de encendido
3	Puerto paralelo
4	Led de poder
5	Puerto de poder
6	Puerto serial de consola
7	Puerto VGA
8	Puerto auxiliar
9	Interfaces de administración [mgmt0 / mgmt 1]
10	Interfaces de red [lan0 / wan0 / lan1 / wan1]
11	Ventiladores

- **Software de administración**

Todos los equipos WOC de Silver Peak, incluyen como parte de la solución de optimización un paquete de software de administración que cuenta con herramientas gráficas intuitivas y potentes para controlar el rendimiento de la red, la carga de aplicaciones, y para generar métricas que permitirán monitorear el enlace optimizado (ver figura 29).



**Figura 29. Software de administración.**

Se puede acceder al software de administración de los equipos NX-1700 a través de su interfaz GUI utilizando un explorador web vía HTTP o HTTPS con la dirección IP del equipo (ver figura 29).

### 3.1.2 Equipos de radiofrecuencia

- **Deliberant APC Mach 5**

El APC MACH 5 de Deliberant (ver figura 30), es un equipo que entrega un excelente desempeño en enlaces punto a punto de grandes distancias. Está equipado con un radio de alta potencia 802.11n y lleva integrado un sistema de software específico con varias funcionalidades de configuración; además cuenta con protección IP-67 en su cubierta exterior y una antena de doble polarización de alta ganancia.

Aunque este equipo es utilizado usualmente en enlaces PTP, también puede ser utilizado como un equipo cliente en escenarios PTMP (punto a multipunto).



**Figura 30. Deliberant APC Mach 5.**

Utilizando equipos Deliberant APC Mach 5, se pueden conseguir aproximadamente los siguientes resultados (Deliberant, APC Mach 5, 2014):

- Modo PTP: 50 km.
- Modo PTMP: 25 km.
- Modo PTP a máxima capacidad: 10 km.
- Máximo throughput: 160 Mbps.

Los enlaces inalámbricos de Deliberant, ofrecen gran velocidad y confiabilidad en el espectro de frecuencia libre de 5 a 6 GHz, utilizando eficientemente el espectro con tecnologías como:

- Múltiple entrada, múltiple salida (MIMO).
- Diversidad de espacio y diversidad de frecuencia (OFDM).
- Modulación adaptativa.
- Selección de frecuencia dinámica.

Los equipos Deliberant APC, cuentan con certificado de homologación para su uso en el Ecuador, otorgado por la Superintendencia de Telecomunicaciones

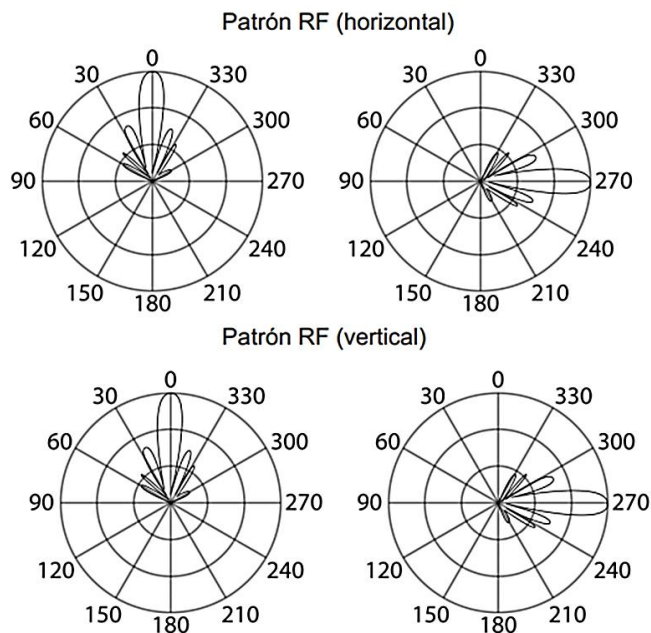


(SUPERTEL, 2014). El APC MACH 5 de Deliberant cuenta con una antena direccional de doble polarización integrada (ver figura 32), que opera en el rango de frecuencias entre 5.1 a 5.9 GHz. Las características de la antena se muestran en la tabla 5:

**Tabla 5.**  
**Características de la antena.**

<b>Rango de frecuencia</b>	5.1 - 5.9 GHz
<b>Ganancia</b>	23 dBi
<b>Polarización</b>	Dual lineal
<b>Aislamiento Cros-pol</b>	27 dB mínimo
<b>Máx VSWR</b>	1.5:1
<b>Apertura H-pol</b>	6 grados
<b>Apertura V-pol</b>	7 grados
<b>Elevación de apertura</b>	9 grados

Fuente: (Deliberant, APC Mach 5, 2014).



**Figura 31. Patrón de radiación de la antena.**

Las características generales de los equipos Deliberant APC Mach 5 se indican en la tabla 6:

**Tabla 6.**  
**Características de los equipos APC Mach 5.**

<b>Estándar WLAN</b>	802.11a/n, iPoll (propietario PTMP)
<b>Modo de radio</b>	MIMO 2x2
<b>Modos de operación</b>	Bridge, Router
<b>Modos de operación inalámbrico</b>	Access point, Access point WDS, Cliente, Cliente WDS
<b>Banda de operación</b>	4.920 Hz - 5.915 Hz
<b>Potencia de TX</b>	Hasta 29 dBm
<b>Sensibilidad de RX</b>	Entre -95 y -75 dBm dependiendo de la modulación
<b>Ancho de canal</b>	20, 40 MHz
<b>Esquemas de modulación</b>	802.11 a/n: OFDM (64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK)
<b>Tasas de transmisión</b>	802.11 n: 300, 270, 240, 180, 120, 90, 60, 30 Mbps 802.11 a: 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Mbps
<b>Corrección de errores</b>	FEC, ARQ selectivo, STBC
<b>Esquema dúplex</b>	Time division duplex TDD
<b>Conectividad</b>	1 x 10/100 Base T, RJ45 con protección contra sobretensiones
<b>Protocolos WAN</b>	IP estática, cliente DHCP, cliente PPPoE
<b>Red</b>	NAT, rutas estáticas, firewall, port forwarding, VLAN, limitación de tráfico
<b>Seguridad inalámbrica</b>	WEP, WPA/WPA2 Personal, WPA/WPA2 Enterprise, WMM, WACL
<b>Servicios</b>	Servidor DHCP, servidor SNMP, cliente NTP, alertas, syslog remoto, estadísticas ethernet e inalámbricas, limitación ancho de banda
<b>Herramientas</b>	Site survey, prueba de enlace, alineación antena, ping, traceroute, analizador de espectro, reinicio retardado
<b>Administración</b>	HTTP(S) GUI, SSH CLI, SNMP lectura, WNMS, archivo de troubleshooting, reset a través de ICMP
<b>Montaje</b>	Pared, Mástil
<b>Alimentación PoE</b>	12 - 24 V
<b>Consumo de potencia</b>	5 W máx.

Fuente: (Deliberant, APC Mach 5, 2014).

Los equipos de la serie APC Deliberant disponen de leds externos (ver figura 32) que se pueden utilizar para:

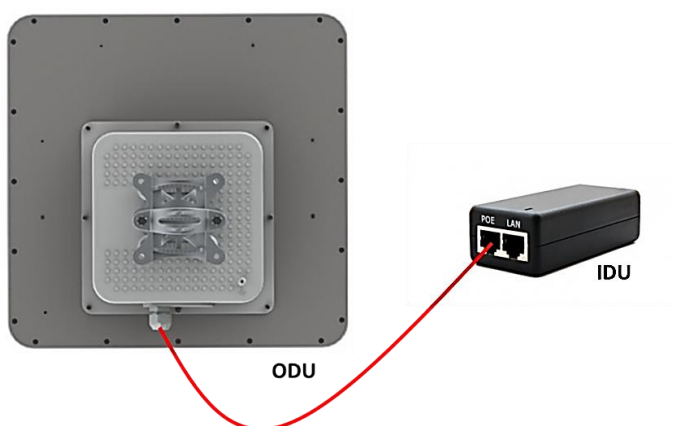
- Alinear la antena (nivel RSSI) en modo cliente.
- Mostrar el nivel promedio de RSSI en el lado de la estación base.
- Mostrar el nivel RSSI más bajo en el lado de la estación de base.



**Figura 32. Leds externos APC Mach 5.**

Los umbrales de estos parámetros se pueden especificar en la interfaz gráfica de usuario para cada medición.

Cada equipo APC Mach 5, incluye una unidad para interiores (IDU) que funciona como inyector de energía para la unidad de exteriores (ODU) (ver figura 33) y además ofrece una interfaz de conexión para los clientes. La conexión entre estos 2 dispositivos es a través de un cable categoría 5e.



**Figura 33. IDU - ODU APC Mach 5.**

- **Deliberant OS**

Los equipos APC MACH 5 de Deliberant utilizan un sistema de software específico que soporta los modos de operación bridge, router y repetidor (permite al equipo funcionar como cliente y access point al mismo tiempo). Además tiene una interfaz gráfica sencilla e intuitiva con herramientas útiles para la instalación de los equipos (site survey, alineación de antena, reinicio retardado, analizador de espectro, prueba de enlace, ping y traceroute).

El analizador de espectro incluido funciona en tiempo real, lo que proporciona una representación gráfica de la señal y muestra los niveles (ruido) máximo, promedio y actual de la señal (ver figura 34). Esto hace que la instalación de los equipos sea muy fácil y permite un análisis de espectro previo para evitar problemas de interferencia.



**Figura 34. Analizador de espectro.**

Además de ser rápido y funcional, el sistema operativo Deliberant tiene todas las características necesarias para el establecimiento de un enlace WAN incluyendo los modos de operación router y bridge, modulación automática, canal automático

inteligente, UAM interna (portal cautivo), WDS (compatibles con equipo de terceros), entre otras características.

### 3.1.3 Entorno de trabajo

- **Link Calculator**

El LinkCalc de Ligowave/Deliberant, es una aplicación en línea gratuita que permite realizar la planificación y gestión de enlaces inalámbricos utilizando cartografía digital para su cálculo. Completa los principales parámetros para todos los equipos Deliberant, aunque también permite editar o reemplazar en su totalidad dichos parámetros, con el fin de utilizar equipos de otros fabricantes.

Las características principales de la herramienta LinkCalc son:

- Planificación sencilla y rápida.
- Soporte para enlaces PTP y PTMP.
- Integración con Google Maps.
- Permite almacenar, descargar y publicar datos sobre los enlaces calculados en línea.
- Genera informes descargables en PDF que pueden ser utilizados por los equipos de instalación en campo.

El estudio básico implica el diseño de un perfil radioeléctrico entre dos sitios. A partir de ahí se realizan estudios más complejos entre una o varias estaciones, cubriendo todas las fases del proceso de planificación de red, permitiendo estudiar la cobertura radioeléctrica, compatibilidad de los elementos, frecuencias de trabajo, etc.

LinkCalc estima las capacidades del enlace de acuerdo con los parámetros de los equipos y su ubicación geográfica; se recomienda utilizar LinkCalc debido a que es el software de planificación propietario de Deliberant, el fabricante de los equipos de

radiofrecuencia utilizados. El acceso al software es en línea y completamente gratuito previo registro (Ligowave/Deliberant, 2014).

Para la generación de un perfil radioeléctrico es necesario la siguiente información, la misma que se puede variar para alcanzar los requerimientos de rendimiento y disponibilidad deseados:

- Nombre de los sitios de TX y RX.
- Seleccionar los equipos del listado disponible.
- Ingresar las coordenadas de ambos sitios.
- Altura de las antenas.
- Ganancia de las antenas.
- Frecuencia de operación.
- Potencia de TX.
- Umbral de RX.
- Clima ambiente (opcional).
- Pérdidas en el cable (opcional).

Se puede generar un informe del cálculo realizado y exportar a KML (archivo de Google Earth). El perfil calculado muestra la intensidad de la señal y la cobertura, así como también el margen de ganancia esperado y la pérdida total producida.

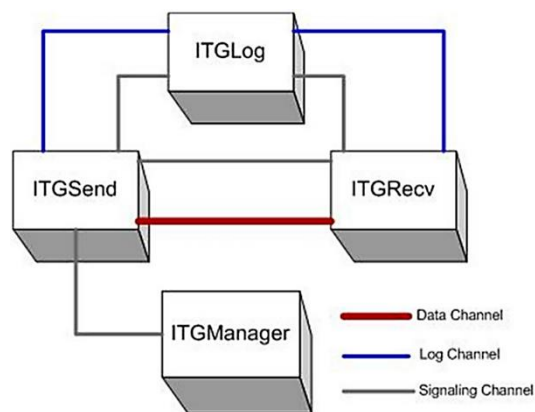
- **D-ITG**

D-ITG (Distributed Internet Traffic Generator) es una plataforma de software de código abierto capaz de generar tráfico IPv4/IPv6 (a nivel de capa de red, transporte y aplicación) y replicar con extrema precisión los procesos estocásticos adecuados para las variables aleatorias IDT (Inter Departure Time) y PS (Packet Size) utilizando variables de tipo exponencial, uniforme, Cauchy, normal, Pareto, etc.

El tráfico generado puede ser flujos simultáneos, como también comunicaciones bidireccionales. D-ITG está concebido para ser usado como una herramienta

distribuida de medición de rendimiento, capaz de calcular el retardo de ida (OWD - One Way Delay) y de ida y vuelta (RTT - Round Trip Time), la tasa de pérdida de paquetes, el jitter y el throughput de un enlace utilizando los diferentes componentes de la plataforma (ver figura 35) (Universita' degli Studi di Napoli "Federico II" , 2014).

D-ITG soporta protocolos TCP, UDP, ICMP, SCTP y DCCP, además de protocolos de capa de aplicación estadísticamente replicados a nivel de paquetes como Telnet, VoIP, DNS, etc.



**Figura 35. Componentes D-ITG.**

Fuente: (Universita' degli Studi di Napoli "Federico II" , 2014).

- **JPerf**

JPerf es un programa cliente-servidor muy sencillo que permite medir el ancho de banda máximo de TCP que alcanzan 2 clientes conectados a través de un enlace. JPerf es una aplicación java para Iperf, herramienta que permite la afinación de diversos parámetros y características TCP/UDP que permiten obtener estadísticas de ancho de banda, jitter y pérdida de paquetes (NLANR/DAST, 2014).

Algunas características de Jperf/Iperf son las siguientes:

**TCP**

- Medición de ancho de banda.

- Soporte multi tamaño de la ventana TCP.
- Cliente y servidor pueden tener múltiples conexiones simultáneas.

### **UDP**

- El cliente puede crear flujos UDP de ancho de banda específico.
- Medición de pérdida de paquetes.
- Medición de jitter.
- Soporte para transmisiones multicast.
- Genera tráfico por tiempo o por cantidad de datos a transferir.
- Muestra información periódica del ancho de banda, jitter y pérdida de paquetes en intervalos específicos.

- **Servidor de archivos FTP**

FileZilla es un software gratuito para transferencia de archivos FTP, FTPS y SFTP, multiplataforma, de código abierto y de tipo cliente-servidor, con varias características útiles y una interfaz gráfica de usuario intuitiva. Permite conectarse a un servidor FTP y subir o descargar archivos utilizando su administrador gráfico (FileZilla, 2014).

Algunas características de FileZilla se describen a continuación:

- Soporta FTP, FTP sobre SSL/TLS (FTPS) y Protocolo de transferencia de archivos seguro (con SSH - SFTP).
- Soporte IPv6.
- Soporta transferencia de archivos pesados (> 4 Gb).
- Límites de velocidades de transferencia configurables.

- **Servidor de transmisión multimedia**

VLC es un servidor/reproductor multimedia gratuito y de código abierto multiplataforma, que transmite y reproduce la mayoría de archivos multimedia y protocolos de transmisión sin necesidad de instalar códecs externos (VideoLAN



Organization, 2014). En la tabla 7 se puede observar las características de transmisión de VLC:

**Tabla 7.**  
**Características de VLC.**

<b>Formatos de video</b>	MPEG-1
	MPEG-2
	MPEG-4
	DivX 1/2/3
	WMV 1/2
	H/I 263
	MJPEG
	Theora
	Formatos de audio
MPEG Layer 3	
AC3	
MPEG-4	
Vorbis/Speex	
FLAC	
PCM	
Ley $\mu$ - Ley A	

Fuente: (VideoLAN Organization, 2014).

- **Servidor de VoIP**

Elastix es un software de código abierto para el establecimiento comunicaciones unificadas basado en Asterix que se ejecuta sobre CentOS. Elastix no solamente provee telefonía, integra además otros medios de comunicación para hacer más eficiente y productivo el entorno de trabajo (Elastix, 2014). Incluye en un solo paquete:

- VoIP PBX.
- Fax.

- Mensajería instantánea.
- Correo electrónico.
- Colaboración.

Algunas características básicas de Elastix incluyen:

- Correo de voz.
- Soporte para softphones.
- Interfaz de configuración web.
- Sala de conferencias virtuales.
- Roaming de extensiones.
- Identificación del llamante.
- Reportes avanzados.

- **Escritorio remoto y colaboración**

TeamViewer es una de las principales soluciones para el intercambio de escritorio y colaboración en línea a través de Internet o red LAN/WAN. Con TeamViewer se puede establecer una conexión a cualquier ordenador a través de una red específica y controlarlo a distancia, sin pasar por firewalls, direcciones IP o NAT (TeamViewer, 2014).

TeamViewer permite acceder y controlar servidores de forma remota o a su vez dar soporte a los clientes sin necesidad de un operador en sitio. Además, TeamViewer posee una función de vídeo con la que se puede simplificar la comunicación entre diferentes localidades, permitiendo establecer reuniones o conferencias virtuales inclusive utilizando voz sobre IP.

## 3.2 Métodos

La metodología utilizada en este proyecto se divide en tres etapas generales. La primera etapa consiste en el análisis de los dispositivos WOC, su funcionamiento y técnicas de optimización WAN existentes. Además se describe los equipos utilizados, y el entorno de trabajo del proyecto. También se realizó la planificación y cálculos necesarios previo al establecimiento del enlace, para esto se propusieron dos métodos de propagación en función de los parámetros de operación. Al final se efectuó un estudio de campo para verificar estos parámetros y realizar posibles correcciones.

La segunda etapa del proyecto comprende la instalación de los equipos, el establecimiento del enlace y el desarrollo de la solución de optimización WAN, y las pruebas necesarias para determinar las mejores condiciones de optimización para el escenario planteado con el objetivo de conseguir mejorar el rendimiento del enlace WAN.

Finalmente la tercera etapa consiste en el análisis de los resultados obtenidos en la segunda etapa, la comparación de los parámetros de desempeño del enlace antes y después de aplicar la solución de optimización, y el establecimiento de conclusiones y recomendaciones del proyecto para futuros estudios similares.

### 3.2.1 Configuración de los equipos APC Mach 5

Para establecer el enlace WAN PTP, es necesario la configuración de los equipos APC Mach 5 como se detalla en (Deliberant, DLB APC v5.94 - Users guide, 2013). El procedimiento básico incluye 5 pasos en resumen:

1. **Configuración de la estación principal o punto de acceso:** cambio de la dirección IP por defecto.
2. **Configuración de los parámetros inalámbricos de la estación principal:** selección del modo inalámbrico, SSID, canal, opciones de seguridad.

3. **Configuración de la estación cliente:** cambio de la dirección IP por defecto.
4. **Configuración de los parámetros inalámbricos de la estación cliente:** selección del modo inalámbrico, SSID, ajuste de canal, opciones de seguridad.
5. **Verificar la conexión del enlace PTP.**

El detalle de este procedimiento se describe en el siguiente capítulo, y el código completo se muestra en los anexos del documento.

### **3.2.2 Configuración de los equipos NX-1700**

Es necesario configurar los dispositivos WOC de acuerdo al entorno de trabajo propuesto, como se explica en (Silver Peak, Appliance Manager Operator's Guide, 2012). La configuración incluye:

- Parámetros de red.
- Túnel virtual.
- Políticas de enrutamiento.
- Políticas de QoS.
- Políticas de optimización.

El detalle de este procedimiento se describe en el siguiente capítulo, y el código completo se muestra en los anexos del documento.

### **3.2.3 Modelos de propagación**

Un modelo de propagación predice lo que sucederá con la señal transmitida entre el transmisor y el receptor. La ruta que sigue la señal desde el origen hacia su destino

puede atravesar entornos libres y sin obstáculos, es decir con línea de vista, o entornos con gran cantidad de obstáculos en su trayectoria.

La predicción y el modelado de los canales de radiocomunicación son una de las partes más complicadas que intervienen en el diseño de sistemas de comunicación. Por lo general este procedimiento se lo realiza de manera estadística, tomando como base los resultados obtenidos en mediciones realizadas en sitio, para un sistema de comunicaciones específico.

Los modelos de propagación predicen la potencia de la señal recibida a una distancia determinada del transmisor, incluyendo las variaciones rápidas que sufre la intensidad de la señal en el trayecto. Estos modelos son de gran utilidad para el cálculo de sistemas de radiocomunicación punto a punto.

Un modelo de propagación se define como el conjunto de expresiones matemáticas que se utilizan para predecir la pérdida de una señal inalámbrica o de radio frecuencia en la trayectoria de recorrido entre una estación base emisor y un cliente receptor fijo o móvil (Caraguay Ramírez, 2011).

- **Modelo de propagación por espacio libre**

El modelo de propagación por espacio libre se utiliza para calcular la propagación general de una señal. Representa el rango de comunicación como una elipse alrededor del transmisor, de forma que si el receptor se ubica dentro del área interna de la elipse, éste recibe toda la información generada, caso contrario los paquetes se pierden en su totalidad (Rec. UIT-R P.525-2, 1994).

Este modelo calcula la intensidad de señal que se pierde durante la transmisión, y está relacionado directamente con la frecuencia y distancia del enlace.

- **Modelo de propagación SUI**

El modelo SUI (Stanford University Interim), fue desarrollado como una extensión del modelo Hata utilizando parámetros de corrección para su uso en radioenlaces que utilizan frecuencias superiores a 1900 MHz. Se recomienda su uso para la planificación de enlaces inalámbricos que operan en altas frecuencias, como por ejemplo sistemas con tecnología WiMAX.

Este modelo de propagación incluye el exponente de pérdidas de trayecto, y propone tres tipos de terreno diferentes, urbano, suburbano y rural. La altura de las antenas puede variar entre 10 y 80 metros para enlaces de hasta 8 kilómetros de distancia.

## **CAPÍTULO 4**

### **PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

#### **4.1 Consideraciones previas**

El presente capítulo, tiene como objetivo diseñar un enlace WAN inalámbrico que permita interconectar dos sitios separados geográficamente, utilizando los equipos de radiofrecuencia descritos en el capítulo previo.

Se ha considerado varias etapas dentro del proceso de diseño del enlace, que permiten conocer las necesidades y equipamiento existente previo a la implementación en sitio, y finalmente la verificación del correcto funcionamiento y todas las pruebas necesarias. Este procedimiento se lo realizó cuidadosamente, dando fiel cumplimiento que permite obtener una buena planificación y ejecución.

##### **4.1.1 Escenario de pruebas**

El escenario propuesto para realizar las pruebas de optimización del enlace WWAN, incluye una LAN de servidores de un extremo, denominado SITIO A, y una LAN de clientes del extremo opuesto, llamado SITIO B. Ambos sitios se interconectan por medio del enlace WWAN diseñado, utilizando los equipos propuestos previamente.

Para realizar la evaluación del desempeño del enlace WWAN se utiliza un ambiente de pruebas real empleando los servidores FTP, multimedia, VoIP, escritorio remoto y videoconferencia. Se genera, envía y recibe peticiones de tráfico real que permitan dimensionar la capacidad y los diferentes parámetros del enlace.

Además, se utiliza las herramientas de inyección de tráfico y medición del desempeño para poder evaluar a ciencia cierta el rendimiento del enlace pre y post optimización. Todos los resultados obtenidos de las pruebas realizadas se comparan de esta forma a fin de determinar los beneficios de la optimización en el rendimiento del enlace WWAN diseñado.

#### **4.1.2 Sitios de trabajo**

Para la implementación del enlace WWAN, se escogió 2 sitios dentro de la ciudad de Quito, donde se cuenta con todas las facilidades para la instalación de los equipos externos (antenas y ODU), así como el espacio y equipamiento necesario para el funcionamiento de los equipos internos (IDU, WOC, servidores/clientes).

Ambos sitios se encuentran distanciados geográficamente y en línea recta aproximadamente a 7 Km. Sin embargo, hay que considerar que ambos sitios pertenecen a la zona urbana residencial/comercial de la ciudad de Quito, por lo que se tomó en cuenta todos los parámetros necesarios de acuerdo a este tipo de terreno para el cálculo y dimensionamiento del enlace.

La ciudad de Quito, así como el resto del territorio ecuatoriano, está sujeta a leyes y reglamentos en el ámbito de las telecomunicaciones, especialmente en bandas licenciadas de uso exclusivo. Para la implementación del enlace, se debe tener en cuenta que los equipos de radiofrecuencia operan en la banda libre no licenciada de 5 GHz, por lo que el parámetro más importante a tener en cuenta en cuanto a normas de operación es la potencia de los equipos. Esta potencia no deberá sobrepasar los rangos impuestos por los organismos de control estatal.

Al ser ambos sitios propiedades privadas, no existe prohibición en la instalación de mástiles auto sustentados para el soporte de las antenas, sin embargo estos no superan una longitud máxima de 10 metros para evitar posibles inconvenientes.

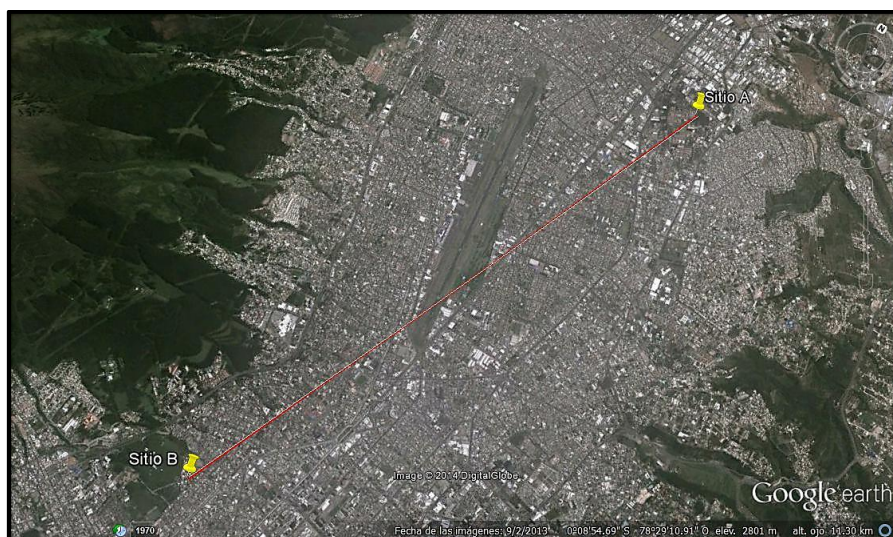


Los lugares seleccionados para la implementación de este proyecto se los muestra en la tabla 8:

**Tabla 8.**  
**Coordenadas teóricas de los sitios de trabajo.**

	Latitud	Longitud
<b>Sitio A</b>	0° 7' 16.27 S	78° 28' 28.91 W
<b>Sitio B</b>	0° 10' 44.44 S	78° 29' 49.95 W

En la figura 36 se puede observar la ubicación geográfica de los sitios de trabajo utilizados:



**Figura 36. Sitios de trabajo.**

## 4.2 Estudio de campo

Previo al cálculo y planificación del enlace WWAN se realizó un estudio de campo en los sitios de interés, el cual permite realizar un checklist sobre las necesidades en sitio, como por ejemplo se puede comprobar si existen las facilidades necesarias para la instalación de los equipos, y los requerimientos para su correcto funcionamiento.

Gracias al estudio de campo se puede determinar las características propias de cada sitio, lo que permite seleccionar la ubicación geográfica más apropiada para el establecimiento del enlace. Se realizaron varias visitas a los sitios mencionados, en las que se verificó la idoneidad de los mismos como parte de la planificación del enlace.

Es importante realizar una visita a los sitios de trabajo previo a la planificación y establecimiento del enlace, debido a que es necesario conocer dónde se van a instalar los equipos, y si existe la infraestructura física necesaria para colocar las antenas con facilidad. También permite tener una perspectiva del alcance que tendrá el enlace, identificando posibles obstáculos en la trayectoria, como árboles o edificios que afecten la comunicación directa, las condiciones atmosféricas de la región, o la necesidad de infraestructura adicional que permita reducir al máximo las pérdidas del radioenlace.

Dentro de las actividades realizadas en el estudio de campo, en primer lugar se verifica las facilidades de acceso con que se cuenta en cada uno de los sitios propuestos. Al ser ambos sitios propiedades privadas, se cuenta con todas las facilidades requeridas para la instalación de los equipos tanto externos como internos. Sin embargo, para la instalación de las antenas, fue necesaria la instalación de unos mástiles auto sustentados pues no se contaba previamente con esta infraestructura.

Los mástiles se construyeron utilizando tubería eléctrica metálica diseñada especialmente para la conducción de cables eléctricos o de datos para zonas industriales, comerciales y residenciales. En su interior mantiene el cableado aislado, protegiéndolo contra todo tipo de amenazas que pudieran dañarlo, y en su exterior, permite soportar hasta 25 libras de carga sin riesgo de caída o daño en su superficie. Además, tiene un acabado galvanizado en su exterior que permite una alta resistencia a la corrosión a largo tiempo, por lo que puede exponerse en todas las condiciones atmosféricas sin que existan daños posteriores. Ver figura 37.



**Figura 37. Mástil para antenas.**

Los mástiles instalados en ambos sitios de trabajo tienen una longitud de 5 metros de altura, lo que sumado a la altura de cada edificio permite garantizar línea de vista directa entre ambos sitios.

Como siguiente paso, se recopiló la información de posicionamiento geográfico de cada sitio. Para esto se utilizó un teléfono inteligente con GPS que permite identificar de forma precisa las coordenadas de cada sitio para utilizar dichos datos como base en el cálculo posterior con la herramienta de software de planificación. Las coordenadas de los sitios A y B respectivamente se muestran en la figura 38 y en la tabla 9.



**Figura 38. Coordenadas GPS.**

**Tabla 9.  
Coordenadas reales de los sitios de trabajo.**

	Latitud	Longitud	Mástil
<b>Sitio A</b>	0° 7' 16.00 S	78° 28' 31.00 W	5 [m]
<b>Sitio B</b>	0° 10' 44.00 S	78° 29' 52.00 W	5 [m]

El estudio de campo realizado permite validar o realizar cambios sobre el diseño propuesto. Los datos de este estudio se pueden cotejar con los datos obtenidos en la planificación utilizando el software de simulación LinkCalc de Ligowave/Deliberant.

### **4.3 Planificación de la red**

La planificación de red comprende un conjunto de actividades cuyo objetivo es conseguir los mejores criterios sobre las instalaciones y servicios de comunicaciones con los que se va a trabajar. Partiendo de una situación inicial, se trata de determinar las alternativas tecnológicas en función de los objetivos marcados, dentro de un marco económico real y en base a proyectos concretos.

Mediante la correcta planificación del enlace, se determinó la mejor ubicación de los sitios de trabajo, así como su respectiva configuración y parámetros de operación a ser utilizados. En este proceso se debe garantizar el cumplimiento de los requisitos mínimos de operación, es decir, parámetros como la capacidad del enlace, servicios de red, disponibilidad y calidad de servicio.

Utilizando las coordenadas de los sitios de trabajo obtenidas en el estudio de campo, se verificó por medio de simulaciones específicas, la factibilidad del enlace propuesto entre ambos sitios. Para la realización de estas simulaciones se utilizó el software LinkCalc de Ligowave/Deliberant y adicionalmente software de geo localización y mapas como Google Earth y Google Maps.

El estudio de planificación realizado en LinkCalc, permitió determinar posibles obstáculos en el perfil topográfico del terreno que afecten al enlace propuesto. Así, se analizan los valores generados por las pérdidas de propagación, los niveles de potencia de transmisión y recepción, potencia de la señal recibida, parámetros de modulación, entre otros. También se realiza un análisis de las zonas de Fresnel del enlace propuesto para determinar si existe o no comunicación de extremo a extremo.

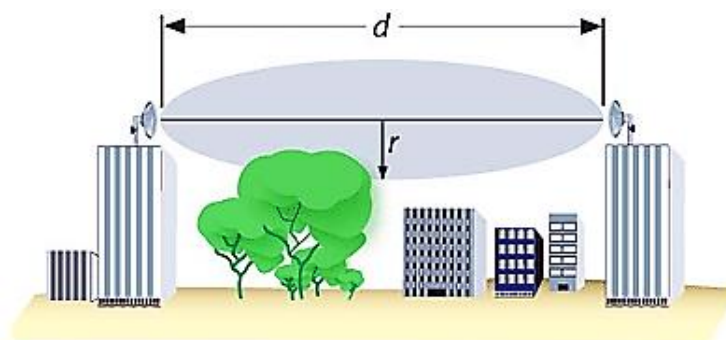
Es importante tener especial cuidado en la etapa de planificación con las zonas de Fresnel. De acuerdo al análisis de estas zonas, se puede saber cómo se ve afectado el enlace debido a la elevación de las antenas transmisoras y receptoras. Este estudio se puede ajustar para casos específicos como por ejemplo en enlaces WiFi 802.11x de largas distancias.

Existen tres tipos de enlace, en función de la visibilidad en las zonas de Fresnel:

- ***Line of Sight (LOS)***: cuando existe línea de vista directa entre el transmisor y el receptor, y primera zona de Fresnel está despejada.
- ***Near Line of Sight (nLOS)***: existe línea de vista directa pero la primera zona de Fresnel está parcialmente obstruida.
- ***Non Line of Sight (NLOS)***: no existe línea de vista entre el transmisor y el receptor, por consiguiente la primera zona de Fresnel está totalmente obstruida.

Las zonas de Fresnel se las representa comúnmente como elipsoides en la propagación de la radiación por donde viaja la mayor parte de la potencia generada entre el transmisor y el receptor. Con el objetivo de evitar pérdidas en la potencia de recepción, idealmente no debería existir obstáculos dentro de esta zona, ya que un obstáculo generaría pérdidas o desviaciones de la señal (Acosta, 2012).

Este análisis se debe al comportamiento causado por la difracción en la propagación de las ondas de radio. Es un comportamiento característico de las ondas electromagnéticas y se produce cuando se atenúan al encontrarse con obstáculos en el aire. Debido a esto la onda inicial se convierte en una superposición de ondas secundarias por lo que el receptor recibe señales de cada punto del frente de onda difractado, es decir, existen multitrayectos entre el transmisor y el receptor.



**Figura 39. Zonas de Fresnel.**

En la figura 39 se representa a la primera zona de Fresnel. Para establecer comunicación a una distancia  $d$  con una señal portadora de frecuencia  $f$ , se debe conseguir que la altura  $r$  de la primera zona de Fresnel, o al menos el 80% de ésta, se encuentre libre de obstáculos.

Las zonas de Fresnel impares contribuyen positivamente al establecimiento del enlace, mientras que las zonas pares influyen negativamente. En el catálogo de los equipos de radio utilizados, se indica que la primera zona concentra el 50% de la potencia de la señal a una máxima distancia de transmisión de 10 kilómetros.

Al ser LinkCalc de Ligowave/Deliberant un software propietario de los equipos de radio utilizados para la implementación del enlace, se garantiza que los resultados obtenidos satisfacen los requerimientos mínimos propuestos, esto se debe a que el software realiza cálculos específicos de acuerdo al modelo y parámetros de operación de los radios y antenas con una confiabilidad del 99%.

De acuerdo a los datos obtenidos en el estudio de campo (ver tabla 10), existe una distancia de aproximadamente 7 kilómetros entre el sitio A y el sitio B. El sitio A tiene una altura total referencial de 2990 msnm. En el sitio B en cambio, la altura promedio final es de 2905 msnm.

**Tabla 10.**  
**Alturas de los sitios de trabajo.**

	<b>Altura del terreno</b>	<b>Altura del edificio</b>	<b>Altura del mástil</b>
<b>Sitio A</b>	2970 [msnm]	15 [m]	5 [m]
<b>Sitio B</b>	2875 [msnm]	25 [m]	5 [m]

Para realizar los cálculos y simulación en el software LinkCalc, es necesario introducir los siguientes parámetros:

- Coordenadas de los sitios de trabajo
- Altura, ganancia y polarización de las antenas
- Potencia de transmisión / Umbral de recepción
- Frecuencia de operación
- Factores climáticos
- Pérdidas adicionales

En base a ésta información, se evaluó y simuló el enlace WiFi 802.11a @ 20 MHz utilizando una modulación BPSK 1/2. Los datos utilizados para el cálculo en LinkCalc tanto para el transmisor como para el receptor se indican en las tablas 11 y 12:

**Tabla 11.**  
**Configuración del transmisor.**

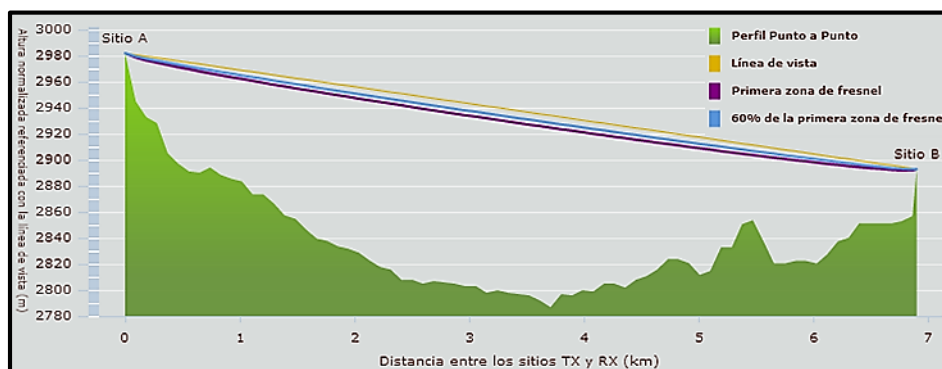
	<b>Altura del terreno</b>
<b>Latitud</b>	0° 7' 16.00 S
<b>Longitud</b>	78° 28' 31.00 W
<b>Altura de la antena</b>	20 [m]
<b>Potencia de transmisión</b>	28 [dBm]
<b>Ganancia de la antena</b>	23 [dBi]
<b>Polarización de la antena</b>	Vertical
<b>Frecuencia de operación</b>	5800 [MHz]
<b>Factores climáticos</b>	Temperatura continental
<b>Pérdidas adicionales</b>	0 [dBm]

**Tabla 12.**  
**Configuración del receptor.**

	<b>Altura del terreno</b>
<b>Latitud</b>	0° 10' 44.00 S
<b>Longitud</b>	78° 29' 52.00 W
<b>Altura de la antena</b>	30 [m]
<b>Umbral de recepción</b>	-94 [dBm]
<b>Ganancia de la antena</b>	23 [dBi]
<b>Polarización de la antena</b>	Vertical
<b>Frecuencia de operación</b>	5800 [MHz]
<b>Factores climáticos</b>	Temperatura continental
<b>Tasa de lluvia</b>	83 [mm/h]
<b>Densidad de follaje</b>	15 [m]
<b>Pérdidas adicionales</b>	0 [dBm]

El software automáticamente recomienda el valor de la tasa de lluvia presente en el terreno de acuerdo a las coordenadas ingresadas y a la estimación climática anual. De igual forma, la densidad de follaje se ingresa de acuerdo a la altura promedio de la vegetación y obstáculos existentes en el trayecto. No se consideraron pérdidas adicionales debido al acoplamiento de conectores o por pérdidas propias en los cables.

El informe de planificación generado por LinkCalc se incluye en los anexos del documento, sin embargo los resultados obtenidos se muestran a continuación en las figuras 40 y 41 y en las tablas 13 y 14:



**Figura 40. Perfil simulado.**



De acuerdo al perfil obtenido en la figura 40, se puede asegurar que existe línea de vista entre los dos sitios de trabajo, sin ningún obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel que afecte el establecimiento de la comunicación.

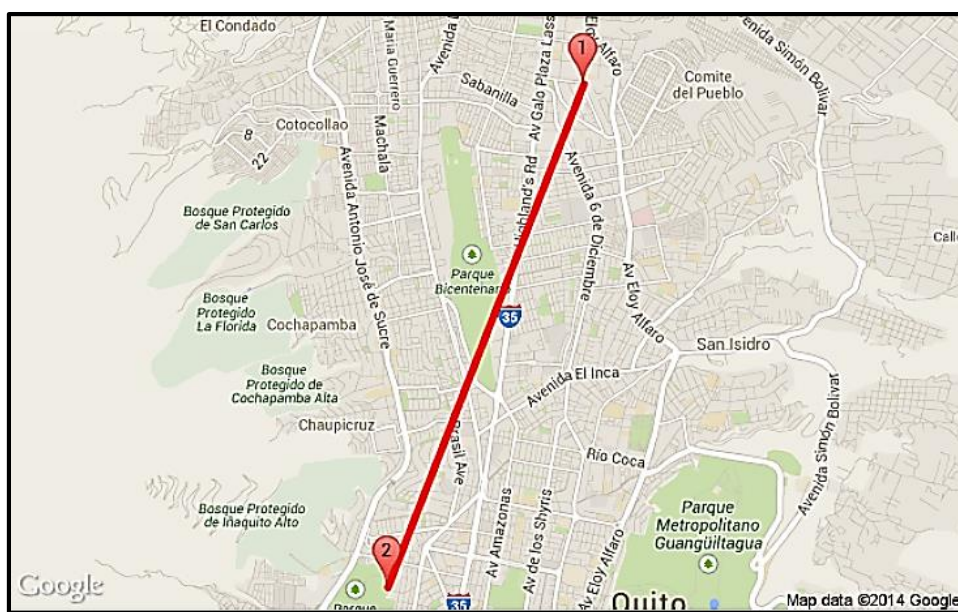


Figura 41. Mapa de operación.

Tabla 13.  
Parámetros de simulación.

	Transmisor (Access Point)	Receptor (Station)
<b>Nombre</b>	Sitio A	Sitio B
<b>Cota</b>	2962 [m]	2863 [m]
<b>Altura de la antena</b>	20 [m]	30 [m]
<b>Distancia del enlace</b>	6.894 [km]	
<b>Frecuencia de operación</b>	5800 [MHz]	
<b>Servicio</b>	WiFi 802.11a	
<b>Velocidad</b>	6 Mbps	
<b>Modulación</b>	BPSK 1/2	
<b>Ancho de canal</b>	20 MHz	

**Tabla 14.**  
**Resultados simulados.**

<b>Enlace</b>	
<b>Pérdida total</b>	138.04 [dBm]
<b>Nivel de señal en el sitio B</b>	-64.04 [dBm]
<b>PIRE</b>	51.00 [dBm]
<b>Desvanecimiento térmico</b>	29.96 [dBm]
<b>Distancia entre sitios</b>	6.89 [km]
<b>Disponibilidad por lluvia</b>	> 99.999 %
<b>TX / RX</b>	1 x 1

Para verificar el valor de las pérdidas totales del enlace obtenido con la simulación, y confirmar la factibilidad técnica de implementación, se realizó el mismo cálculo utilizando los modelos de propagación descritos anteriormente.

Utilizando el modelo de propagación por espacio libre, el cálculo se reduce a la utilización de la ecuación 4.1:

$$L_b(dB) = 32.4 + 20 \log(d[km]) + 20 \log(f[MHz]) \quad (4.1)$$

Reemplazando los valores de distancia y frecuencia, el valor de las pérdidas por espacio libre para el enlace es:

$$L_b(dB) = 32.4 + 20 \log(6.8) + 20 \log(5800) \quad (4.2)$$

$$L_b(dB) = 124.32 \quad (4.3)$$

Para realizar correctamente el cálculo de las pérdidas con el modelo SUI, se debió primero modificar la ecuación del modelo en base a los coeficientes más cercanos al perfil en estudio. La ecuación 4.4, permite realizar el cálculo de las pérdidas generadas utilizando el modelo SUI:

$$L_b(dB) = A + 10 \gamma \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + s \quad (4.4)$$

dónde,

$$A = 20 \log\left(\frac{4 \pi d_o}{\lambda}\right) \quad (4.5)$$

$$\gamma = a - bh_t + \frac{c}{h_t} \quad (4.6)$$

Sin embargo, como la frecuencia de operación es de 5800 MHz (mayor a 1900 MHz), se necesita realizar una corrección de frecuencia en la ecuación 4.4 para que el cálculo sea más cercano a la realidad. De esta forma la ecuación del modelo SUI extendido queda de la siguiente forma:

$$L_b(dB) = A + 10 \gamma \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + s + \Delta L_{bf} + \Delta L_{bh} \quad (4.7)$$

dónde,

$$\Delta L_{bf} = 6 \log\left(\frac{f[MHz]}{2000}\right) \quad (4.8)$$

$$\Delta L_{bh} = -20 \log\left(\frac{h_r}{2000}\right) \quad (4.9)$$

El parámetro  $\Delta L_{bf}$  es un factor de corrección de frecuencia por encima de 2000 MHz, mientras que  $\Delta L_{bh}$  es el factor de corrección de la altura de la antena receptora.

Para poder realizar el cálculo de las pérdidas de propagación utilizando el modelo SUI se debió calcular ambos factores de corrección, teniendo en cuenta los siguientes datos:

- $d = 6.8$  km
- $d_o = 1000$  m

- $8.2 \text{ dB} > s > 10.6 \text{ dB}$
- $f = 5800 \text{ MHz}$
- $h_t = 20 \text{ m}$
- $h_r = 30 \text{ m}$

El modelo SUI emplea 3 constantes: a, b y c. Representan los coeficientes del exponente de pérdidas de trayecto, y varían de acuerdo al tipo de terreno sobre el que se trabaja. El modelo describe éstos coeficientes de acuerdo a lo indicado en la tabla 15:

**Tabla 15.**  
**Coeficientes SUI.**

Factor	Urbano	Suburbano	Rural
a	4.6	4.0	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

Los cálculos de las pérdidas de propagación quedaron de la siguiente forma:

$$A = 20 \log \left( \frac{4 \pi \cdot 1000 \cdot f[\text{Hz}]}{3 \times 10^8} \right) \quad (4.10)$$

$$A = 20 \log(f[\text{Hz}]) - 87.55 \quad (4.11)$$

$$\gamma = 4.0 - 0.0065(20) + \frac{17.1}{20} \quad (4.12)$$

$$\gamma = 4.73 \quad (4.13)$$

Reemplazando los valores de 4.11 y 4.13 en la ecuación 4.7, se obtiene:

$$L_b(\text{dB}) = 20 \log(f[\text{Hz}]) - 87.55 + 10 \cdot 4.73 \log \left( \frac{d[\text{m}]}{d_o} \right) + s \quad (4.14)$$

$$+ \Delta L_{bf} + \Delta L_{bh}$$

En la ecuación 4.14, sustituimos los valores de los datos conocidos:

$$L_b(dB) = 20 \log(f[Hz]) - 87.55 + 10 \cdot 4.73 \log\left(\frac{d[m]}{1000}\right) \quad (4.15)$$

$$+ 9.5 + \Delta L_{bf} + \Delta L_{bh}$$

$$L_b(dB) = 20 \log(f[Hz]) - 87.55 + 47.3 \log(d[m]) \quad (4.16)$$

$$- 47.3 \log(1000) + 9 + \Delta L_{bf} + \Delta L_{bh}$$

$$L_b(dB) = -210.95 + 20 \log(f[Hz]) + 47.3 \log(d[m]) \quad (4.17)$$

$$+ \Delta L_{bf} + \Delta L_{bh}$$

Transformando los valores a MHz y km, resulta:

$$L_b(dB) = -210.95 + 200 + 20 \log(f[MHz]) + 47.3 \log(d[km]) \quad (4.18)$$

$$+ \Delta L_{bf} + \Delta L_{bh}$$

Los valores de  $\Delta L_{bf}$  y  $\Delta L_{bh}$  se calcularon de la siguiente forma:

$$\Delta L_{bf} = 6 \log\left(\frac{5800}{2000}\right) \quad (4.19)$$

$$\Delta L_{bf} = 2.77 \quad (4.20)$$

$$\Delta L_{bh} = -20 \log\left(\frac{30}{2000}\right) \quad (4.21)$$

$$\Delta L_{bh} = 36.48 \quad (4.22)$$

En la ecuación 4.18, sustituimos los valores de 4.20 y 4.22 y calculamos las pérdidas totales del enlace:

$$L_b(dB) = 28.3 + 20 \log(f[MHz]) + 50.8 \log(d[km]) \quad (4.23)$$

$$L_b(dB) = 28.3 + 20 \log(5800) + 50.8 \log(6.8) \quad (4.24)$$

$$L_b(dB) = 28.3 + 75.27 + 42.29 \quad (4.25)$$

$$L_b(dB) = 145.86 \quad (4.26)$$

Si comparamos las ecuaciones 4.3 y 4.26, resultados del cálculo de las pérdidas de propagación del enlace utilizando el modelo por espacio libre y SUI respectivamente, con el resultado obtenido en la simulación de LinkCalc, el valor más cercano es el obtenido en la ecuación 4.26 empleando el modelo SUI. Esto se debe a que este modelo incluye factores de corrección de frecuencia y se adapta de mejor forma a las condiciones reales del terreno.

A partir de la simulación realizada, se obtuvieron resultados positivos para la implementación del radio enlace, pues la potencia de recepción es mayor al umbral de recepción y además se determinó la existencia de línea de vista directa entre los dos sitios de trabajo sin que las zonas de Fresnel se encuentren afectadas por obstáculos en la trayectoria.

#### **4.4 Validación del diseño de red**

Luego de la planificación y simulación de la red realizadas en el software LinkCalc, se puede concluir que existe la factibilidad necesaria para levantar el enlace entre los sitios de trabajo propuestos. Ésta información se apoya además en los datos obtenidos en el estudio de campo, por lo que se concluye el diseño final de la red propuesta.

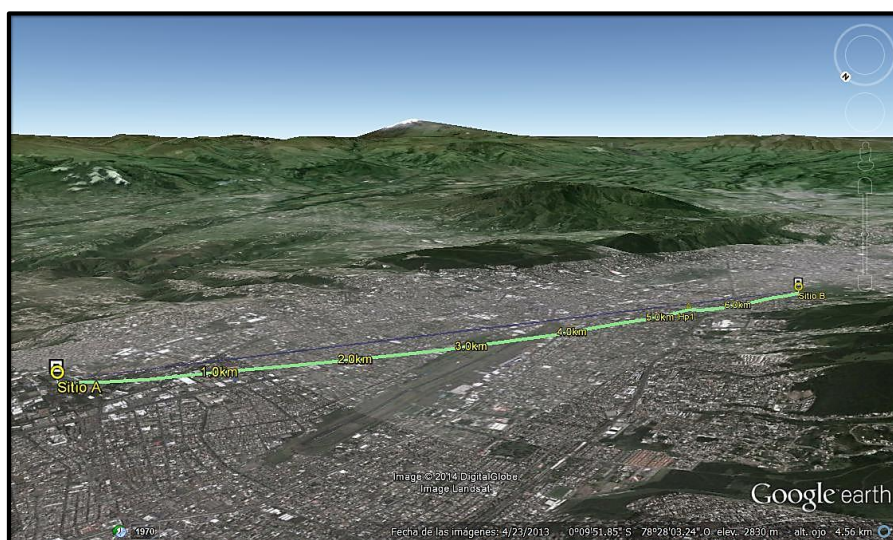
Mediante el estudio de propagación realizado y en base al perfil obtenido, se pudo observar que existe línea de vista directa entre los dos sitios, con las zonas de Fresnel despejadas y libre de obstáculos. Las alturas de las antenas fueron definidas en el

estudio de campo realizado, y benefician al enlace al evitar posibles obstáculos en la trayectoria.

Tanto el sitio A como el sitio B, tendrán sus propias redes LAN de servidores y clientes respectivamente, las mismas que estarán directamente conectadas en su extremo común hacia los equipos de radio que harán las veces de enrutadores del tráfico generado. Se espera que el throughput máximo del enlace de acuerdo a los cálculos realizados sea de 6 Mbps.

Las condiciones climáticas en el entorno del enlace propuesto son favorables y no representan amenaza para el establecimiento de la comunicación. Además de acuerdo a la simulación realizada, se tiene una disponibilidad del enlace mayor al 99.999 %, lo que permite asegurar la confiabilidad de las transmisiones.

Finalmente, se realizó la validación de la simulación realizada utilizando el software Google Earth, que permite observar de forma más cercana la topografía del terreno y los emplazamientos escogidos. Esta simulación se puede observar en la figura 42:



**Figura 42. Perfil con Google Earth.**

En las figuras 43 y 44 se puede observar las antenas instaladas con sus respectivos mástiles en cada uno de los sitios de trabajo.



**Figura 43. Antena sitio A.**

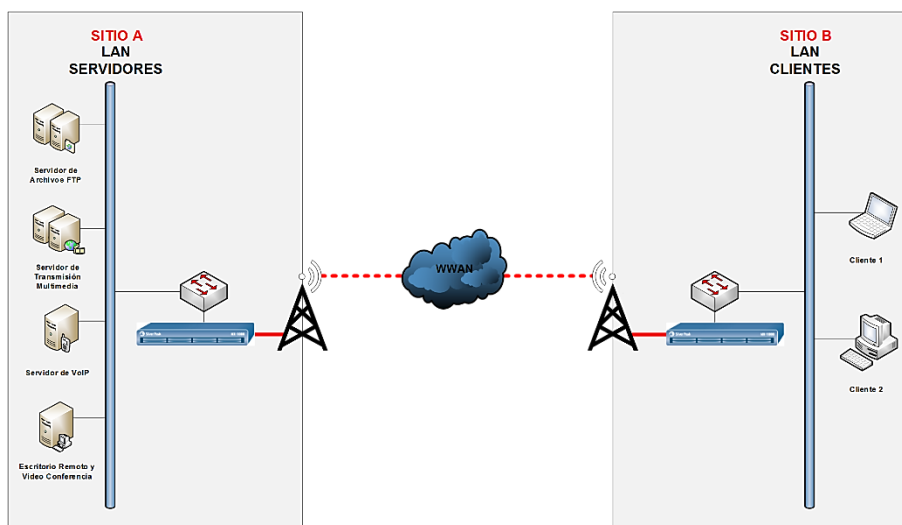


**Figura 44. Antena sitio B.**

#### **4.4.1 Topología de red**

La topología de red propuesta se muestra en la figura 45. En el esquema mostrado, se pueden observar los componentes de cada LAN ubicadas tanto en el sitio A como en el sitio B y el enlace WWAN establecido entre los dos sitios.





**Figura 45. Topología de red.**

## 4.5 Implementación de la red

A continuación se describen los procedimientos de configuración de los equipos utilizados para establecer la comunicación entre los sitios de trabajo, de acuerdo a las mejores prácticas estudiadas. Se muestra también las configuraciones realizadas para el proceso de optimización de los datos generados en base a los mejores criterios de coincidencia, técnicas y calidad de servicio.

### 4.5.1 Equipos APC Mach 5

Debido a que la topología utilizada establece un enlace punto a punto, fue necesario realizar la configuración de los equipos de la siguiente forma:

- **Sitio A**

El radio del sitio A se configuró en modo router, y se estableció la dirección IP fija a utilizarse tanto para la interfaz WAN como para la interfaz LAN (ver figura 46).

deliberant >>>

Apply Discard Save & Apply Logout

Status Configuration Services System Tools

Network Wireless Virtual AP Wireless ACL Traffic shaping Port forwarding Static routes

Network mode Router Auto negotiation  Ethernet speed 10M/100M

NAT  Enable IGMP snooping  Enable IGMP proxy

WAN, wired LAN, wireless

HAC address 00:19:3B:84:9C:9C IP address 192.168.0.1

VLAN ID 2 Subnet mask 255.255.255.252

WAN mode Static IP DHCP mode disabled

IP address 172.16.1.1

Subnet mask 255.255.0.0

Default gateway

DNS server 1

DNS server 2

Enable secondary IP

IP address 192.168.2.66

Subnet mask 255.255.255.0

Deliberant © 2013

**Figura 46. Configuración IP - radio sitio A.**

Se configuró los parámetros inalámbricos del radio (modo wireless - access point, SSID, ancho de canal, etc.) como indica la figura 47.

deliberant >>>

Apply Discard Save & Apply Logout

Status Configuration Services System Tools

Network Wireless Virtual AP Wireless ACL Traffic shaping Port forwarding Static routes

Wireless mode Access Point (auto WDS) Country US Non-standard channels DISABLED

Basic

SSID WWAN IEEE mode A

Broadcast SSID  Channel width 20 MHz

Channel Auto

Channel list

Security

Security Open

RADIUS MAC Authentication

Advanced

Tx power (dBm) 29 Mode MIMO 2x2

Enable ATPC  Max data rate N 144 (MCS15)

Fragmentation 256 Max legacy data rate 54

RTS 1 Auto data rate Dynamic algorithm

Quality of service (W... Data rate fallback Normal

Deliberant © 2013

**Figura 47. Configuración wireless - radio sitio A.**

- **Sitio B**

El radio del sitio B se configuró en modo router, y se estableció la dirección IP fija a utilizarse tanto para la interfaz WAN como para la interfaz LAN (ver figura 48).

deliberant >>>

Apply Discard Save & Apply Logout

Status Configuration Services System Tools

Network Wireless Virtual AP Wireless ACL Traffic shaping Port forwarding Static routes

Network mode Router Auto negotiation  Ethernet speed 10M/100M

NAT  Enable IGMP proxy

WAN, wireless

MAC address 00:19:3B:84:88:B1

VLAN ID 2

WAN mode Static IP

IP address 192.168.0.2

Subnet mask 255.255.255.252

Default gateway 192.168.0.1

DNS server 1

DNS server 2

LAN, wired

IP address 192.168.1.1

Subnet mask 255.255.255.0

DHCP mode disabled

Enable secondary IP

IP address 192.168.2.66

Subnet mask 255.255.255.0

Deliberant © 2013

**Figura 48. Configuración IP - radio sitio B.**

deliberant >>>

Apply Discard Save & Apply Logout

Status Configuration Services System Tools

Network Wireless Virtual AP Wireless ACL Traffic shaping Port forwarding Static routes

Wireless mode Station Country US Non-standard channels DISABLED

Basic

SSID WWAN Scan IEEE mode A

Scanned SSID

Channel width 20 MHz

Lock Access Point

Security

Security Open

Advanced

Tx power (dBm) 29

Enable ATPC

Fragmentation 256

RTS 1

Quality of service (W...

Enable DFS

Enable AMSDU

Mode MIMO 2x2

Max data rate M 144 (MCS15)

Max legacy data rate 54

Auto data rate Dynamic algorithm

Data rate fallback Normal

Short GI

HPDU density 4

Deliberant © 2013

**Figura 49. Configuración wireless - radio sitio B.**

También se configuró los parámetros inalámbricos del radio (modo wireless - station, SSID, ancho de canal, etc.) como indica la figura 49.

Es recomendable cambiar los parámetros informativos en ambos radios, para evitar confusiones al momento del acceso a estos. Además también es recomendable establecer una contraseña de seguridad para prevenir el acceso de personal no autorizado a las configuraciones de los equipos (ver figura 50).

The screenshot displays the Deliberant web management interface. At the top, there are navigation tabs: Status, Configuration, Services, System (selected), and Tools. Below these are sub-tabs: Administration (selected), Log, LED, and Firmware upgrade. The main content area is split into two identical panels for 'Radio Base - Sitio A' and 'Radio Base - Sitio B'. Each panel has a 'Device settings' section with fields for Friendly name, Device location, Latitude, and Longitude. The 'Account settings' section includes fields for Username, Old password, New password, and Verify password. Below the settings are 'System functions' with buttons for Reboot device, Reset to factory defaults, Download troubleshooting file, Backup configuration file, Restore configuration from file, and a checkbox for Installer radio test mode. At the top right of the interface, there are buttons for Apply, Discard, Save & Apply, and Logout.

**Figura 50. Configuración de seguridad - radios.**

Por último, se verifica la conexión exitosa del enlace (ver figuras 51 y 52). El equipo del sitio A debe reflejar su modo de operación y el cliente conectado que es el radio del sitio B. Este segundo radio debe reflejar la configuración de cliente con los niveles de señal respectivos y la relación señal/ruido.

deliberant

Apply Discard Save & Apply Logout

Status Configuration Services System Tools

High contrast view Information Network Wireless Graphs Routes ARP Refresh Auto

System information		Wireless information	
Product	DLB APC Mach 5 V2	Connected	1 peer(s)
Friendly name	Radio Base - Sitio A	Wireless mode	Access Point (auto WDS)
Device location	Sitio A	IEEE mode	A
Latitude/Longitude	0.0/0.0	Max data rate	54 Mbps
Firmware version	FWBD-1100.v5.94.47224	Country code	US
Uptime	2 hours 51 mins 24 secs	Channel	149 (5745 MHz)
System time	01-Jun-2014 10:22	Channel width	20 MHz
Current load	48%	Transmit power	29 dBm
		Antenna gain	23 dBi
		Noise floor	-95 dBm
		SSID details	
		ra0 (WWAN) Open	
Network mode: router			
WAN		LAN	
IP address	172.16.1.1	IP address	192.168.0.1
Subnet mask	255.255.0.0	Subnet mask	255.255.255.252
Gateway	*	DHCP	off
DNS server 1			

Deliberant © 2013

Figura 51. Verificación - radio sitio A.

deliberant

Apply Discard Save & Apply Logout

Status Configuration Services System Tools

High contrast view Information Network Wireless Graphs Routes ARP Refresh Auto

System information		Wireless information	
Product	DLB APC Mach 5 V2	Connection status	Connected
Friendly name	Radio Base - Sitio B	Signal level (Main)	-69 dBm
Device location	Sitio B	Signal level (Aux)	-64 dBm
Latitude/Longitude	0.0/0.0	SNR	24/27 dB
Firmware version	FWBD-1100.v5.94.47224	Noise floor	-95 dBm
Uptime	2 hours 52 mins 1 sec	Wireless mode	Station
System time	01-Jun-2014 10:22	Data rate	54 (802.11a) Mbps
Current load	56%	SSID	WWAN
		Peer MAC address	00:19:3B:84:9C:9B
		Security	Open
		Country code	US
		Channel	149 (5745 MHz)
		Channel width	20 MHz
		Transmit power	29 dBm
		Antenna gain	23 dBi
Network mode: router			
WAN		LAN	
IP address	192.168.0.2	IP address	192.168.1.1
Subnet mask	255.255.255.252	Subnet mask	255.255.255.0

Deliberant © 2013

Figura 52. Verificación - radio sitio B.

## 4.5.2 Equipos NX-1700

La configuración completa de los equipos WOC se incluye en la sección anexos del documento, sin embargo a continuación se detalla la configuración básica necesaria para optimizar el enlace WWAN.

Tanto el equipo WOC del sitio A como el WOC del sitio B se establecieron en modo de operación bridge y se fijó la dirección IP de cada equipo, junto con la dirección IP del gateway respectivo (ver figuras 53 y 54).

The screenshot shows the Silver Peak configuration interface for a WOC device. The page title is "Configuration - System". The "System Settings" section includes fields for Hostname (SITIO-A), Appliance Model (NX-1700), Serial Number (00-1B-BC-02-80-16), Node ID (163862), Contact, Appliance Location, and checkboxes for Auto Tunnel (checked) and System Bypass (unchecked). The "Deployment Mode" section shows "2-port" mode with a diagram of a bridge between wan0 and lan0. The "Advanced" options are expanded, showing Appliance IP / Netmask (172.16.1.2 / 16), wan0 Next-hop IP (172.16.1.1), lan0 Next-hop IP (optional), and Appliance IP VLAN Tag (optional). The "WAN Bandwidth" section shows Max WAN Bandwidth (4000 Kbps) with a warning not to exceed WAN link bandwidth. The "Network Memory Settings" section has "Encrypt Data Stored on Disk (recommended)" checked. "Apply" and "Cancel" buttons are at the bottom.

Figura 53. Configuración IP - WOC sitio A.

The screenshot shows the 'Configuration - System' page in the Silver Peak web interface. The 'System Settings' section includes fields for Hostname (SITE-B), Appliance Model (NX-1700), Serial Number (00-1B-BC-02-80-1C), and Node ID (163868). There are also fields for Contact and Appliance Location. Under 'Deployment Mode', the 'Bridge' option is selected, and a diagram shows a 2-port configuration with 'wan0' and 'lan0' ports. The 'WAN Bandwidth' section shows a maximum bandwidth of 4000 Kbps. The 'Network Memory Settings' section has the 'Encrypt Data Stored on Disk' option checked. At the bottom, there are 'Apply' and 'Cancel' buttons.

**Figura 54. Configuración IP - WOC sitio B.**

Es importante sincronizar los dispositivos WOC para que la optimización se realice correctamente. De preferencia se recomienda realizar la sincronización con un servidor NTP local o externo. En este caso se sincronizaron los dispositivos WOC de forma manual, como se indica en la figura 55.

The screenshot shows the 'Configuration - Date/Time' page in the Silver Peak web interface. The 'Date/Time Setting' section has the 'Manually' radio button selected. The 'Time Zone' is set to 'America/Guayaquil'. The 'Date' is set to '2013/12/15' and the 'Time' is set to '09:14:51'. The 'NTP Servers' section has three server entries, each with a version dropdown menu. At the bottom, there are 'Apply' and 'Cancel' buttons.

**Figura 55. Sincronización - dispositivos WOC.**

Una vez que se realizó este procedimiento, se puede empezar a configurar las reglas y políticas de los equipos WOC. Sin embargo, para poder aplicarlas prácticamente sobre el enlace establecido, es necesario primero la creación del túnel virtual entre los equipos NX-1700.

### **4.5.3 Túnel virtual**

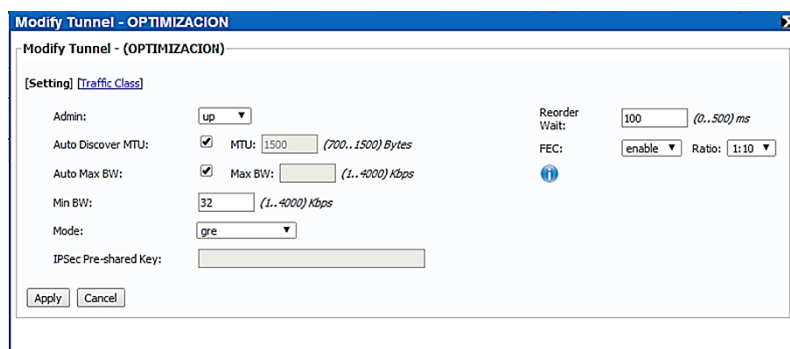
El túnel virtual que se creó entre los dispositivos optimizadores es un túnel de tipo GRE (Generic Routing Encapsulation). GRE es un protocolo utilizado en el establecimiento de túneles a través de Internet y está definido en (RFC 1701, 1994) y (RFC 1702, 1994).

Este tipo de túneles pueden transportar hasta 20 protocolos distintos de capa 3, utilizando protocolos de enrutamiento especializados que permiten obtener la ruta óptima entre los extremos de la comunicación para transmitir por esa vía los datos generados. Los túneles de este tipo soportan la secuencialidad de paquetes y la creación de túneles sobre redes de alta velocidad y además permiten establecer políticas de enrutamiento y seguridad.

GRE es uno de los mecanismos de tunneling que utiliza IP como protocolo de transporte y puede ser usado para transportar distintos protocolos. Los túneles se comportan como enlaces punto a punto virtuales que tienen dos extremos identificados como túnel origen y túnel destino.

Configurar un túnel GRE incluye configurar una interfaz lógica para el túnel. Luego se debe configurar los extremos para dicha interfaz. Para configurar el túnel correctamente se debe realizar la configuración mostrada en la figura 56.





**Figura 56. Configuración túnel virtual.**

Debido a que GRE es un protocolo de encapsulamiento, se recomienda ajustar el valor de la unidad máxima de transferencia MTU a 1400 bytes debido a que la mayoría de los MTU de transporte son de 1500 bytes y GRE agrega bytes adicionales debido a que encapsula la información. Sin embargo, los equipos WOC ofrecen la alternativa de auto-descubrimiento del MTU de la red, lo que asegura que la fragmentación de paquetes se mantenga al mínimo independientemente del tipo de paquetes que sean generados.

Como parte de la configuración del túnel, se ingresa un valor de tiempo (reorder wait) que utilizan los equipos optimizadores para esperar un paquete que llegó en desorden antes de intentar reordenarlo. Este valor se estableció en 100 ms, valor que se adapta a la mayoría de transmisiones de datos. Además, se incluye la opción de aplicar las técnicas de corrección de errores FEC sobre todos los datos que atraviesen el túnel creado. En este caso se reconstruye los paquetes perdidos con un radio de corrección de 1:10.

Por último para verificar el establecimiento del túnel entre los dos sitios (ver figura 57), se puede revisar en la configuración si el estado de éste indica activo, caso contrario se lo debe levantar utilizando la opción manual. Es importante que en ambos extremos del enlace, el túnel esté activo tanto física como lógicamente, caso contrario el tráfico pasará por el enlace sin optimizarse.

Configuration - Tunnels

Total Tunnels: 1

Name	Status	Details	Admin	MTU(cfg/cur)	Local IP	Remote IP
<input type="checkbox"/> OPTIMIZACION	up - active		up	auto/1500	192.168.1.2	172.16.1.2

Remove Selected Add Rediscover MTU

Max BW(cfg/cur) Kbps	Min BW(cfg/cur) Kbps	IPSec Enabled	Up Time
auto/4000	32/32	no	3m 13s

**Figura 57. Verificación túnel virtual.**

#### 4.5.4 Políticas de enrutamiento

Las políticas de enrutamiento de los equipos WOC, permiten redirigir el tráfico generado tanto en la LAN de servidores como en la LAN de clientes hacia el túnel virtual creado para la optimización del enlace. Para este caso, se re direccionó todo tipo de tráfico hacia el túnel virtual, para que las políticas de calidad de servicio y optimización sean las que se encarguen de discriminar y dar prioridades de acuerdo a las aplicaciones o protocolos.

Dentro de la política de enrutamiento (ver figuras 58 y 59), se realiza un primer marcado DSCP de los paquetes con prioridad be (best effort). Se escogió ésta opción de marcado debido a que se tienen aplicaciones que se ejecutan tanto en TCP como en UDP, por lo que no es conveniente desechar paquetes a este nivel, sino más bien hacerlo discriminando las aplicaciones por protocolo en la política de calidad de servicio.

La configuración de las políticas de enrutamiento tanto para el dispositivo WOC del sitio A como para el del sitio B se muestran en las tablas 16 y 17 respectivamente:

**Tabla 16.**  
**Política de enrutamiento - WOC A.**

	Valor
<b>Prioridad</b>	10
<b>Protocolo</b>	IP
<b>Subred origen</b>	172.16.0.0/16
<b>Subred destino</b>	192.168.1.0/24
<b>Aplicación</b>	Cualquiera
<b>DSCP</b>	be
<b>Túnel</b>	Optimización

#### Configuration - Route Policy

[New Route Map](#)

Map Name:

Total entries: 1 Max entries: 400

map1 (active) - Number of entries: 1

Match Criteria									
Priority	ACL	Protocol	Src Subnet	Dst Subnet	Application	Src-Dst Port	DSCP	VLAN	
<input type="checkbox"/> 10		ip	172.16.0.0/16	192.168.1.0/24	any		be	any.any	
<input type="checkbox"/> default									

[Access Lists](#) | [QoS Policy](#) | [Optimization Policy](#)

Set Actions	
<b>Tunnel</b>	<b>Tunnel Down Action</b>
OPTIMIZACION	pass-through
[auto optimized]	pass-through

**Figura 58. Política de enrutamiento - WOC A.**

**Tabla 17.**  
**Política de enrutamiento - WOC B.**

	Valor
<b>Prioridad</b>	10
<b>Protocolo</b>	IP
<b>Subred origen</b>	192.168.1.0/24
<b>Subred destino</b>	172.16.0.0/16
<b>Aplicación</b>	Cualquiera
<b>DSCP</b>	be
<b>Túnel</b>	Optimización

Configuration - Route Policy

[New Route Map](#) Map Name:

Total entries: 1 Max entries: 400

map1 (active) - Number of entries: 1

Match Criteria									
Priority	ACL	Protocol	Src Subnet	Dst Subnet	Application	Src/Dst Port	DSCP	VLAN	
<input type="checkbox"/> 10		ip	192.168.1.0/24	172.16.0.0/16	any		be	any.any	
<input type="checkbox"/> default									

[Access Lists](#) | [QoS Policy](#) | [Optimization Policy](#)

Set Actions	
Tunnel	Tunnel Down Action
OPTIMIZACION	pass-through
[auto optimized]	pass-through

**Figura 59. Política de enrutamiento - WOC B.**

#### 4.5.5 Políticas de calidad de servicio

Las políticas de calidad de servicio empleadas para la optimización del enlace WWAN discriminan el tráfico que atraviesa el túnel de optimización. Para esto, se establecen varias reglas dentro de la política que seleccionan el tráfico de acuerdo al protocolo o aplicación para utilizar diferentes niveles de calidad de servicio en los paquetes.

En la política de calidad de servicio (ver figuras 60 y 61), se realiza un segundo marcado DSCP de los paquetes basado en el protocolo o aplicación al que pertenecen. Existen 5 reglas dentro de la política de calidad de servicio de cada equipo WOC, de acuerdo a los protocolos de operación de cada uno de los servidores utilizados para realizar las pruebas. Cada regla tiene su propio tipo de marcado DSCP.

Adicional a este segundo marcado DSCP, se aplican diferentes niveles de calidad de servicio a los paquetes filtrados por protocolo. Este proceso se lo realiza tanto para los paquetes que se reciben en la interfaz LAN como para los paquetes que transmite el dispositivo WOC hacia la WAN. Ésta configuración se la realizó en base a la importancia del tipo de aplicación en la red, dando mayor prioridad a las aplicaciones que requieren mayor confiabilidad.

La configuración de las políticas de calidad de servicio de los sitios A y B se muestran en las tablas 18 y 19 respectivamente:

**Tabla 18.**  
**Política de calidad de servicio - WOC A.**

	Regla 1	Regla 2	Regla 3	Regla 4	Regla 5
<b>Prioridad</b>	10	20	30	40	50
<b>Protocolo</b>	IP	IP	IP	IP	IP
<b>Subred origen</b>	192.168.1.0/24	192.168.1.0/24	192.168.1.0/24	192.168.1.0/24	192.168.1.0/24
<b>Subred destino</b>	172.16.0.0/16	172.16.0.0/16	172.16.0.0/16	172.16.0.0/16	172.16.0.0/16
<b>Aplicación</b>	SIP	FTP	MS Terminal Services	HTTP	Video UDP
<b>DSCP</b>	ef	af11	af21	af31	be
<b>Clase de tráfico</b>	1	2	4	3	5
<b>LAN QoS</b>	trust-lan	af11	af21	af31	be
<b>WAN QoS</b>	trust-lan	af11	af21	af31	be

#### Configuration - QoS Policy

[New QoS Map](#)

Map Name:

Total entries: 5 Max entries: 200

map1 (active) - Number of entries: 5

Match Criteria								
Priority	ACL	Protocol	Src/Subnet	Dst/Subnet	Application	Src/Dst Port	DSCP	VLAN
<input type="checkbox"/> 10		ip	192.168.1.0/24	172.16.0.0/16	sip		ef	any.any
<input type="checkbox"/> 20		ip	192.168.1.0/24	172.16.0.0/16	ftp		af11	any.any
<input type="checkbox"/> 30		ip	192.168.1.0/24	172.16.0.0/16	ms_terminal_services		af21	any.any
<input type="checkbox"/> 40		ip	192.168.1.0/24	172.16.0.0/16	http		af31	any.any
<input type="checkbox"/> 50		ip	192.168.1.0/24	172.16.0.0/16	video_udp		be	any.any
<input type="checkbox"/> default								

[Access Lists](#) | [Route Policy](#) | [Optimization Policy](#)

Set Actions		
Traffic Class	LAN QoS	WAN QoS
1	trust-lan	trust-lan
2	af11	af11
4	af21	af21
3	af31	af31
5	be	be
1	trust-lan	trust-lan

**Figura 60. Política de calidad de servicio - WOC A.**

**Tabla 19.**  
**Política de calidad de servicio - WOC B.**

	Regla 1	Regla 2	Regla 3	Regla 4	Regla 5
<b>Prioridad</b>	10	20	30	40	50
<b>Protocolo</b>	IP	IP	IP	IP	IP
<b>Subred origen</b>	172.16.0.0/16	172.16.0.0/16	172.16.0.0/16	172.16.0.0/16	172.16.0.0/16
<b>Subred destino</b>	192.168.1.0/24	192.168.1.0/24	192.168.1.0/24	192.168.1.0/24	192.168.1.0/24
<b>Aplicación</b>	SIP	FTP	MS Terminal Services	HTTP	Video UDP
<b>DSCP</b>	ef	af11	af21	af31	be
<b>Clase de tráfico</b>	1	2	4	3	5
<b>LAN QoS</b>	trust-lan	af11	af21	af31	be
<b>WAN QoS</b>	trust-lan	af11	af21	af31	be

#### Configuration - QoS Policy

[New QoS Map](#)

Map Name:

Total entries: 5 Max entries: 200

map1 (active) - Number of entries: 5

Match Criteria					
Priority	ACL	Protocol	Src/Subnet	Dst/Subnet	Application
<input type="checkbox"/> 10		ip	172.16.0.0/16	192.168.1.0/24	sip
<input type="checkbox"/> 20		ip	172.16.0.0/16	192.168.1.0/24	ftp
<input type="checkbox"/> 30		ip	172.16.0.0/16	192.168.1.0/24	ms_terminal_services
<input type="checkbox"/> 40		ip	172.16.0.0/16	192.168.1.0/24	http
<input type="checkbox"/> 50		ip	172.16.0.0/16	192.168.1.0/24	video_udp
<input type="checkbox"/> default					

[Access Lists](#) | [Route Policy](#) | [Optimization Policy](#)

Src/Dst Port	DSCP	VLAN	Set Actions		
			Traffic Class	LAN QoS	WAN QoS
	ef	any.any	1	trust-lan	trust-lan
	af11	any.any	2	af11	af11
	af21	any.any	4	af21	af21
	af31	any.any	3	af31	af31
	be	any.any	5	be	be
			1	trust-lan	trust-lan

**Figura 61. Política de calidad de servicio - WOC B.**

## 4.5.6 Políticas de optimización

Las políticas de optimización utilizadas, permiten aplicar las diferentes técnicas disponibles en los dispositivos WOC al tráfico procedente de las políticas de calidad de servicio. Esta es la fase final del proceso de optimización del tráfico que atraviesa el enlace WWAN.

En la política de optimización (ver figuras 62 y 63), se realiza un tercer y definitivo marcado DSCP de los paquetes que pasaron previamente por las políticas de enrutamiento y calidad de servicio. Este marcado servirá para que el equipo WOC del otro extremo pueda reconstruir y aplicar las prioridades en el manejo de los datos.

Configuration - Optimization Policy

New Optimization Map Map Name:

Total entries: 1 Max entries: 200

map1 (active) - Number of entries: 1

Match Criteria								
Priority	ACL	Protocol	Src/Subnet	Dst/Subnet	Application	Src/Dst Port	DSCP	VLAN
<input type="checkbox"/>	10	ip	172.16.0.0/16	192.168.1.0/24	any		be	any.any
<input type="checkbox"/>	default							

[Access Lists](#) | [Route Policy](#) | [QoS Policy](#)

Set Actions			
Network Memory	Payload Compression	TCP Accel	Protocol Accel
balanced	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="button" value="..."/>	none
balanced	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="button" value="..."/>	none

Figura 62. Política de optimización - WOC A.

Configuration - Optimization Policy

New Optimization Map Map Name:

Total entries: 1 Max entries: 200

map1 (active) - Number of entries: 1

Match Criteria								
Priority	ACL	Protocol	Src/Subnet	Dst/Subnet	Application	Src/Dst Port	DSCP	VLAN
<input type="checkbox"/>	10	ip	172.16.0.0/16	192.168.1.0/24	any		be	any.any
<input type="checkbox"/>	default							

[Access Lists](#) | [Route Policy](#) | [QoS Policy](#)

Set Actions			
Network Memory	Payload Compression	TCP Accel	Protocol Accel
balanced	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="button" value="..."/>	none
balanced	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="button" value="..."/>	none

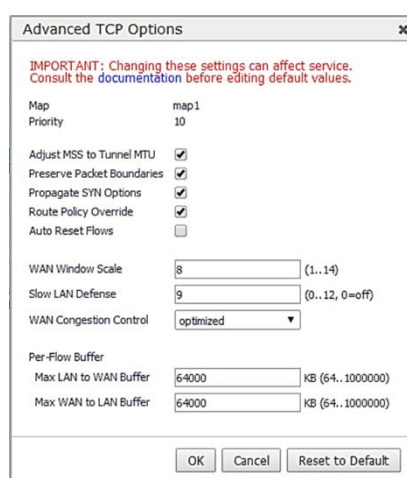
Figura 63. Política de optimización - WOC B.

Se pueden aplicar 4 técnicas de optimización adicionales a FEC que fue aplicado directamente sobre el túnel virtual. Estas técnicas son:

- Memoria de red
- Compresión
- Aceleración TCP
- Aceleración por protocolo

La técnica de memoria de red permite realizar un filtrado de paquetes en tres niveles: balanceado, máxima reducción o mínima latencia. Dependiendo de la aplicación sería útil aplicar la segunda o tercera opción, sin embargo como ya se filtró por protocolo o aplicación los paquetes en la política de optimización, se configuró la memoria de red para que trabaje sobre los datos de forma balanceada.

Para este caso de estudio, no se aplica una aceleración por protocolo sino más bien se realiza la compresión de los datos antes de enviarlos por la WWAN para minimizar el tamaño de los paquetes y transmitir solamente la información útil sin redundancias ni cabeceras innecesarias. De ésta forma, se puede optimizar el uso de la capacidad del enlace sin sacrificar la confiabilidad de los datos transmitidos.



**Figura 64. Aceleración TCP – equipos WOC.**



Finalmente, la aceleración TCP se aplica para evitar congestión en la red WWAN, trabajando directamente con las opciones de la ventana de transmisión y los valores de MTU de la red (ver figura 64).

La configuración de las políticas de optimización aplicadas en los dispositivos WOC de los sitios A y B se muestran en las tablas 20 y 21 respectivamente:

**Tabla 20.**  
**Política de optimización - WOC A.**

	<b>Valor</b>
<b>Prioridad</b>	10
<b>Protocolo</b>	IP
<b>Subred origen</b>	192.168.1.0/24
<b>Subred destino</b>	172.16.0.0/16
<b>Aplicación</b>	Cualquiera
<b>DSCP</b>	be
<b>Memoria de red</b>	Balanceado
<b>Compresión</b>	Activada
<b>Aceleración TCP</b>	Activada
<b>Aceleración por protocolo</b>	Desactivada

**Tabla 21.**  
**Política de optimización - WOC B.**

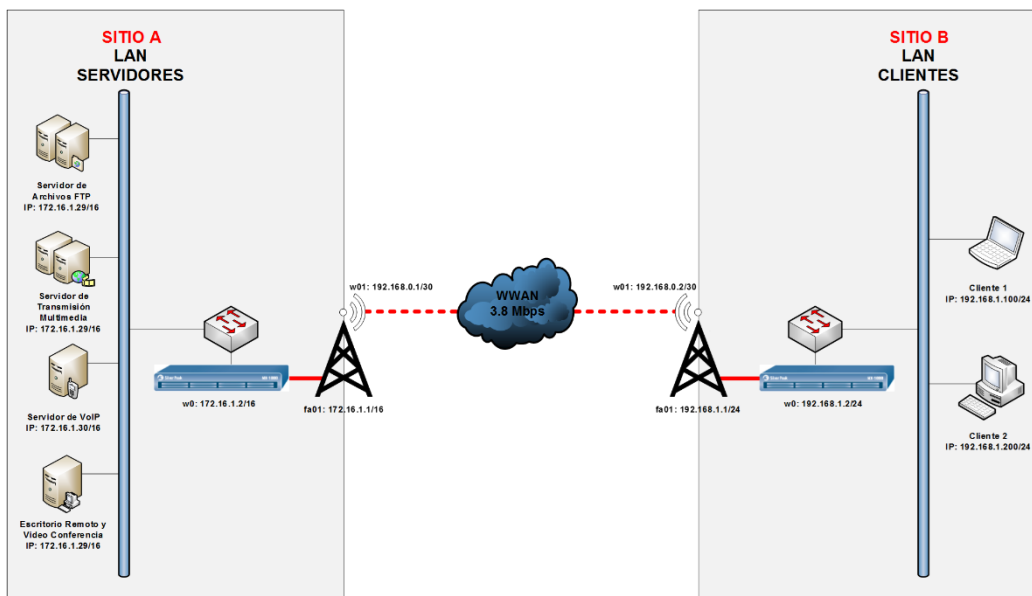
	<b>Valor</b>
<b>Prioridad</b>	10
<b>Protocolo</b>	IP
<b>Subred origen</b>	172.16.0.0/16
<b>Subred destino</b>	192.168.1.0/24
<b>Aplicación</b>	Cualquiera
<b>DSCP</b>	be
<b>Memoria de red</b>	Balanceado
<b>Compresión</b>	Activada
<b>Aceleración TCP</b>	Activada
<b>Aceleración por protocolo</b>	Desactivada

## CAPÍTULO 5

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 5.1 Pruebas

A continuación se presentan las diferentes pruebas realizadas sobre el enlace WWAN, a fin de determinar el rendimiento inicial y el rendimiento bajo las condiciones de optimización establecidas. El detalle del escenario de pruebas utilizado se muestra en la figura 65, incluido el esquema de direccionamiento de red de cada uno de los elementos.



**Figura 65. Aceleración TCP – equipos WOC.**

Se realizaron 2 tipos de pruebas generales, las pruebas utilizando los servidores de aplicación y las pruebas de inyección de tráfico tanto TCP como UDP. El resumen del direccionamiento según el tipo de dispositivo se indica en la tabla 22, para efectos de configuración e identificación de los equipos.

**Tabla 22.**  
**Esquema de direccionamiento.**

	<b>Interfaz</b>	<b>Dirección IP</b>	<b>Máscara de red</b>
<b>WAN APC Mach 5 - sitio A</b>	w01 - sitio A	192.168.0.1	255.255.255.252
<b>WAN APC Mach 5 - sitio B</b>	w01 - sitio B	192.168.0.2	255.255.255.252
<b>LAN APC Mach 5 - sitio A</b>	fa01 - sitio A	172.16.1.1	255.255.0.0
<b>LAN APC Mach 5 - sitio B</b>	fa01 - sitio B	192.168.1.1	255.255.255.0
<b>WAN NX-1700 - sitio A</b>	w0 - sitio A	172.16.1.2	255.255.0.0
<b>WAN NX-1700 - sitio B</b>	w0 - sitio B	192.168.1.2	255.255.255.0
<b>Servidor de archivos FTP</b>	IP	172.16.1.29	255.255.0.0
<b>Servidor de transmisión multimedia</b>	IP	172.16.1.29	255.255.0.0
<b>Servidor de VoIP</b>	IP	172.16.1.30	255.255.0.0
<b>Escritorio remoto y colaboración</b>	IP	172.16.1.29	255.255.0.0
<b>Cliente 1</b>	IP	192.168.1.100	255.255.255.0
<b>Cliente 2</b>	IP	192.168.1.200	255.255.255.0

Para las pruebas con los servidores de aplicación, se utilizó el software de administración de los equipos WOC para obtener los resultados, gráficas y tablas necesarias; mientras que para las pruebas de inyección de tráfico, se empleó el software D-ITG que permite monitorear y obtener las diferentes gráficas y estadísticas de rendimiento en base al tráfico que atraviesa el enlace.

Las pruebas de inyección de tráfico se las divide en 2 grupos de acuerdo al protocolo de transporte, TCP o UDP, para diferenciar los resultados obtenidos con las técnicas de optimización y QoS aplicadas.

### **5.1.1 Servidor de archivos FTP**

Utilizando el servidor de archivos, se pueden realizar pruebas de rendimiento utilizando el protocolo FTP. Este tipo de transacciones son comunes en un entorno de red, ya que los clientes acceden a archivos o documentos que se encuentran en un dispositivo de almacenamiento dedicado.

Al realizar esta prueba se realizaron varias peticiones al servidor FileZilla, para descargar un fichero (ver figura 66). Esta prueba se la realizó pre y post optimización.

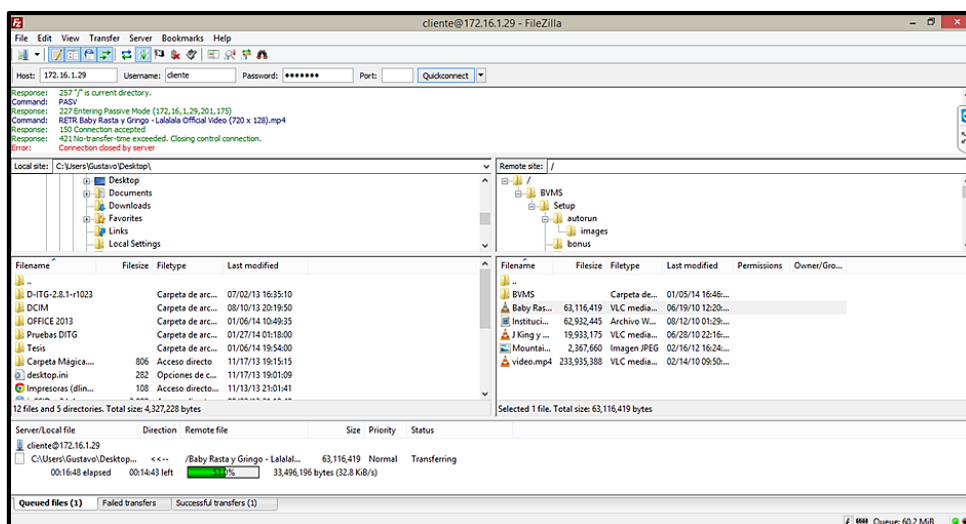
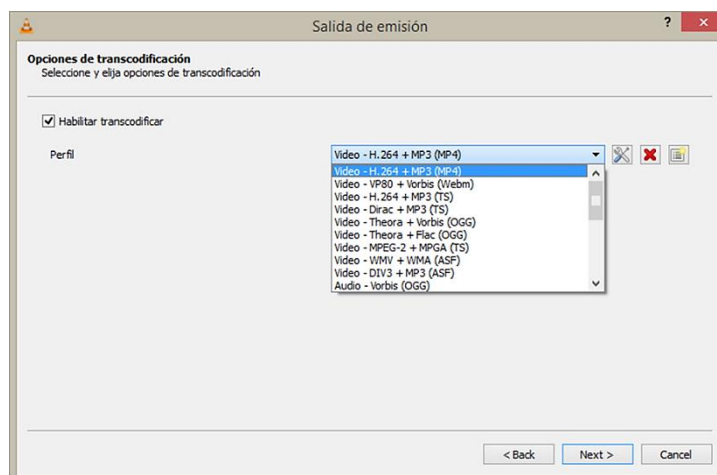


Figura 66. Servidor de archivos FTP.

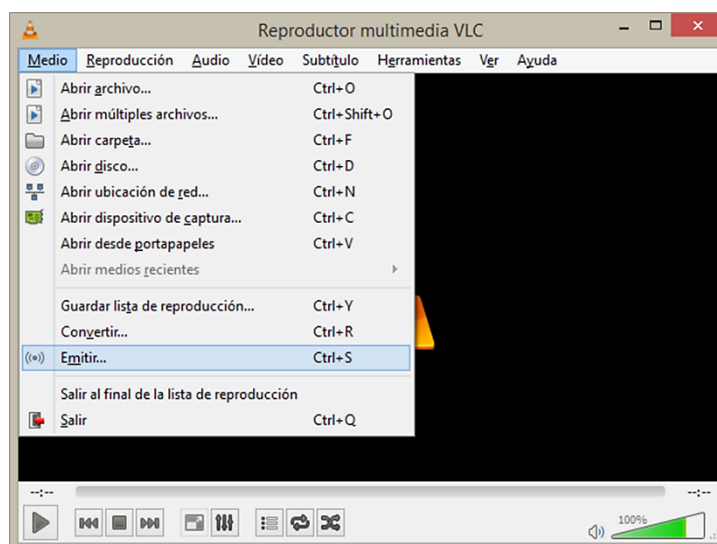
### 5.1.2 Servidor de transmisión multimedia

Las pruebas realizadas con el servidor de transmisión multimedia, permiten emplear el protocolo HTTP para la emisión de contenidos. El contenido es emitido en formato MP4, es decir, el video es comprimido utilizando H.264 y el audio se transmite en formato MP3 (ver figura 67). El cliente accede a la transmisión utilizando el puerto 8080.

Para esta prueba se emitió el mismo archivo multimedia antes y después de optimizar el enlace para poder verificar los resultados (ver figura 68).



**Figura 67. Transcodificación multimedia.**



**Figura 68. Emisión multimedia.**

### 5.1.3 Servidor de VoIP

Para realizar las pruebas de voz sobre IP se creó una máquina virtual en el servidor físico para alojar al servidor de comunicaciones unificadas Elastix 2.4 (ver figura 69). Una vez instalado el software en la máquina virtual se configuró la central telefónica según el procedimiento básico, es decir, se crearon extensiones para ser utilizadas tanto en la LAN de servidores como en la LAN de clientes, de acuerdo a lo mostrado en la figura 70.

Las extensiones 1000 correspondiente al sitio A y 2000 perteneciente al sitio B, se configuraron en un softphone (X-Lite) para poder establecer las llamadas y realizar las pruebas necesarias entre los dos sitios (ver figura 71).

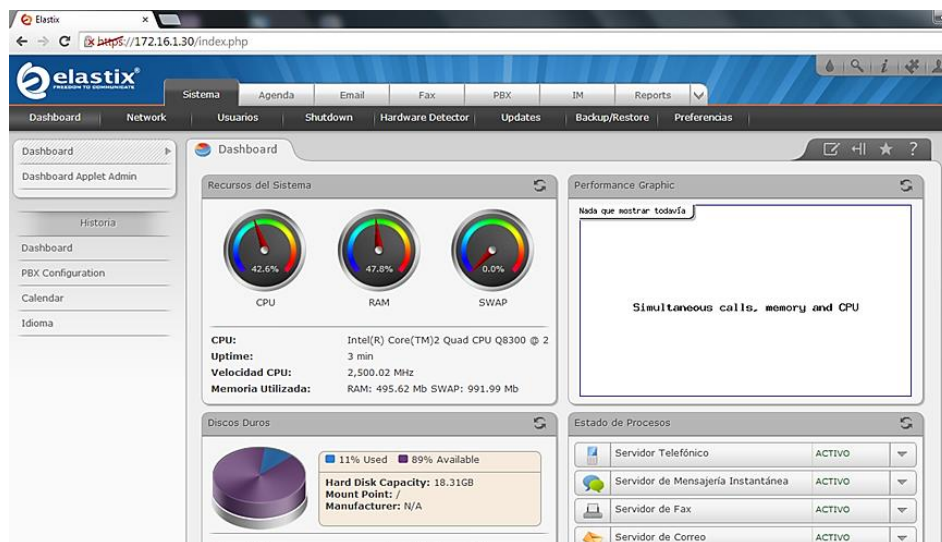


Figura 69. Servidor de VoIP.

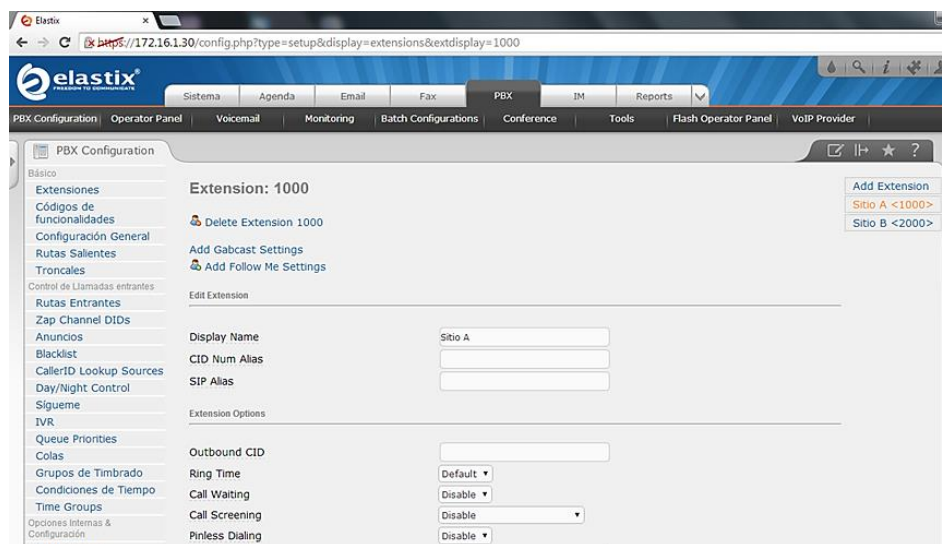


Figura 70. Configuración de extensiones.

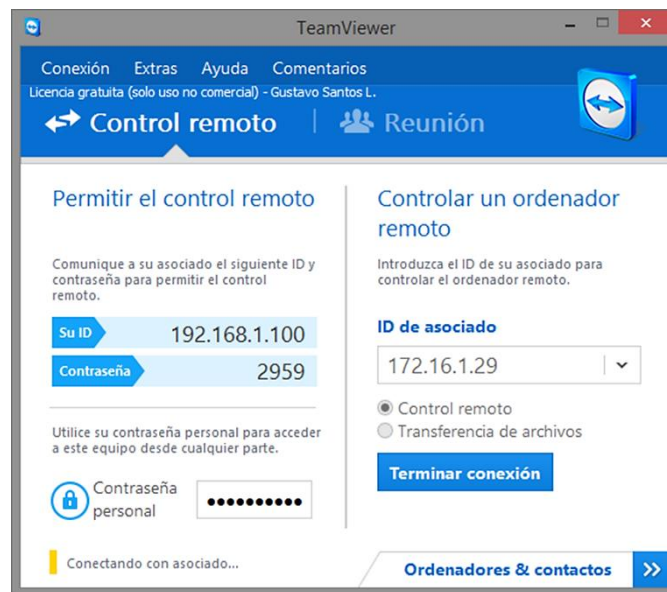


**Figura 71. Registro softphone - llamada.**

Los protocolos SIP y UDP se someten a pruebas al establecer llamadas utilizando las extensiones creadas en el servidor de telefonía IP.

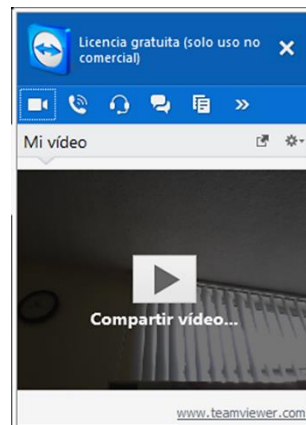
#### **5.1.4 Escritorio remoto y colaboración**

En esta prueba se empleó el software TeamViewer para obtener control de escritorio remoto entre el cliente y el servidor (ver figura 72). En este caso se emplea el protocolo RDP (Remote Desk Protocol) conocido también como Terminal Services.



**Figura 72. Escritorio remoto.**

Adicionalmente, se utiliza la opción de establecer videoconferencia entre el sitio remoto y el cliente, lo que permite identificar el rendimiento de los protocolos TCP y UDP para el establecimiento de video entre los dos sitios (ver figura 73).



**Figura 73. Videoconferencia.**



### 5.1.5 Inyección de tráfico

Las pruebas de inyección de tráfico permiten obtener y evaluar los diferentes parámetros de rendimiento del enlace, tales como bitrate, jitter, delay y packet loss. El software D-ITG permite obtener a detalle estos cuatro parámetros del enlace para poder analizarlos y comparar si existe o no mejora antes y después de la optimización. Durante todas las pruebas de inyección, se utilizó el procedimiento descrito en (Barrionuevo Zapata & Tamayo Vegas , 2011).

Antes de empezar con las pruebas de inyección de tráfico, se debió determinar cuál es el throughput efectivo del enlace previo a la optimización. Teóricamente el throughput que entregan los equipos de radio según la configuración indicada es de 6 Mbps (Deliberant, APC Mach 5, 2014).

Para poder determinar este valor, se realizaron dos pruebas de inyección inicial, la primera utilizando tráfico TCP y la segunda utilizando tráfico UDP. En esta inyección de tráfico, se genera aproximadamente 200 Mbps durante 300 segundos, con el objeto de saturar el enlace y verificar la capacidad real del enlace (ver figuras 74 y 75).

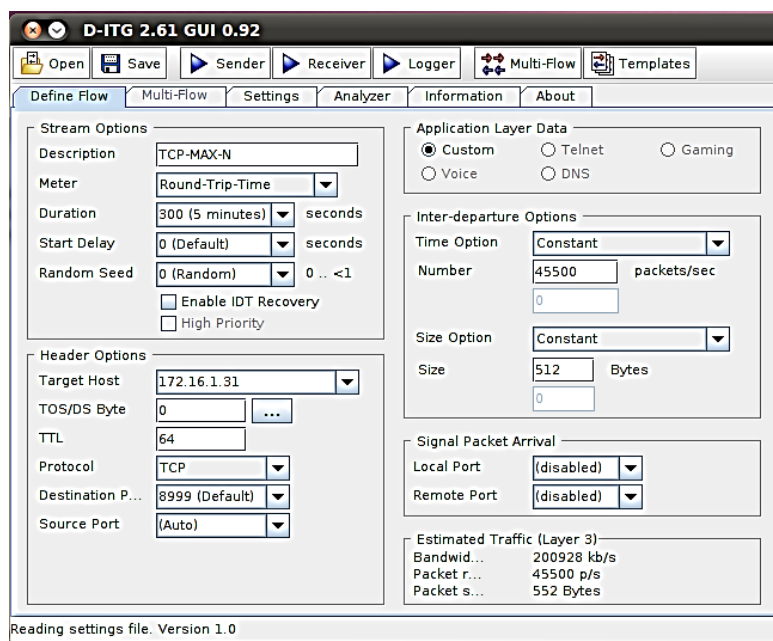
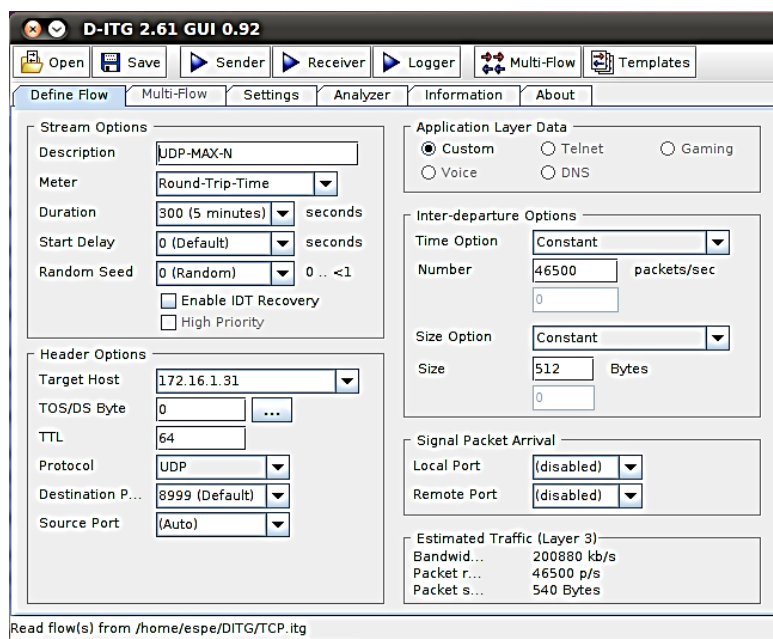


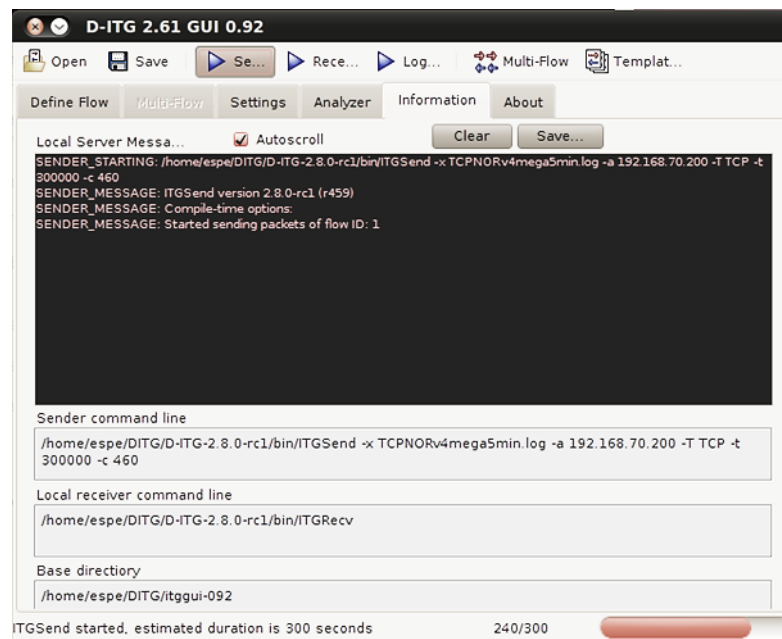
Figura 74. Inyección inicial TCP.



**Figura 75. Inyección inicial UDP.**

Este procedimiento fue repetido para evaluar, determinar y comparar el rendimiento del enlace WWAN sin técnicas de optimización con el mismo enlace aplicando la configuración de optimización propuesta.

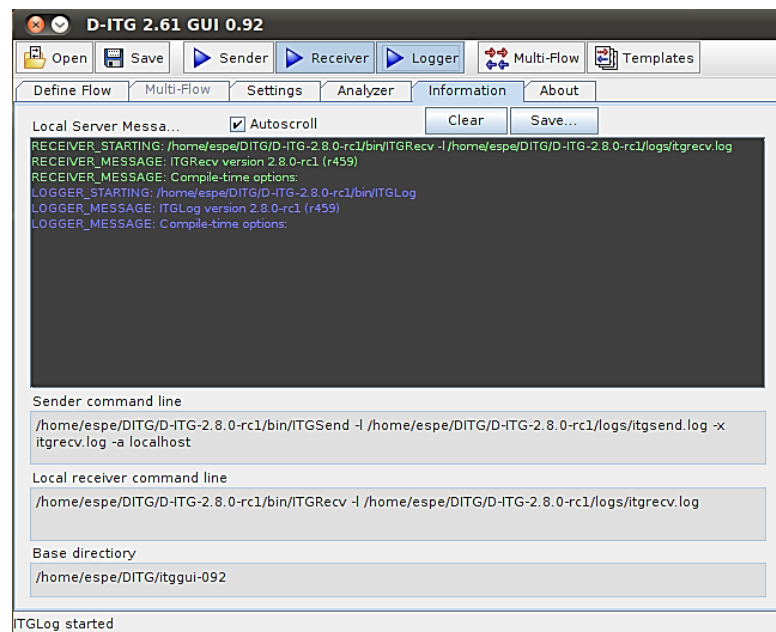
En las pruebas de inyección de tráfico utilizando D-ITG, se utilizaron dos equipos, un emisor y otro receptor. En la pestaña Define Flow mostrada en las figuras 74 y 75, se indica el tipo de tráfico que se va a generar, creando un flujo bidireccional tanto TCP como UDP, especificando el período de tiempo o la duración de la inyección de tráfico. Finalmente, se realiza la transmisión hacia el receptor utilizando el botón *Sender* como se indica en la figura 76. Previamente el receptor deberá estar configurado como se indica a continuación.



**Figura 76. Envío de tráfico.**

El receptor captura los paquetes generados por el transmisor para determinar los parámetros de rendimiento del enlace. Para asegurar que los resultados sean confiables, se debe tener especial cuidado al momento de realizar la inyección de tráfico con la sincronización de relojes de los equipos. Esto es importante porque permite determinar el delay existente y si los relojes no están sincronizados se traduce en un aumento en este valor, lo que no genera una medición real.

En la figura 77 se puede observar cómo se reciben los paquetes en el lado del equipo receptor. Se debe seleccionar primero la opción *Logger* para generar el archivo .log con los datos de transmisión y luego utilizar el botón *Receiver* para recibir los datos de la inyección generada.



**Figura 77. Recepción de tráfico.**

El archivo .log generado en cada prueba de inyección de tráfico, es analizado por el software D-ITG para generar las métricas y gráficas de los parámetros de desempeño del enlace indicados previamente.

El procedimiento descrito se realiza tanto con tráfico TCP como con tráfico UDP, primero con la inyección inicial de 200 Mbps, luego con 100 Mbps y adicionalmente para conocer el límite de transmisión UDP se realiza una inyección de tráfico UDP a 3.8 Mbps.

Para finalizar se realiza el análisis de los datos y gráficos obtenidos para determinar las mejoras en el desempeño de los protocolos en base a los parámetros de bitrate, delay, jitter y packet loss.

## 5.2 Resultados

El análisis de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas se muestra a continuación. Debido a que todas las pruebas fueron realizadas dos veces

(una antes y una después de la optimización del enlace), se muestra también un análisis comparativo y de las ventajas de aplicar las técnicas de optimización propuestas sobre el enlace WWAN.

En las pruebas realizadas con los servidores de aplicación, se muestra las gráficas y estadísticas obtenidas por los equipos NX-1700 que permiten determinar las mejores prácticas y establecer conclusiones de trabajo. Para las pruebas de inyección de tráfico con D-ITG, se analiza los valores obtenidos y las gráficas de los parámetros de desempeño pre y post optimización.

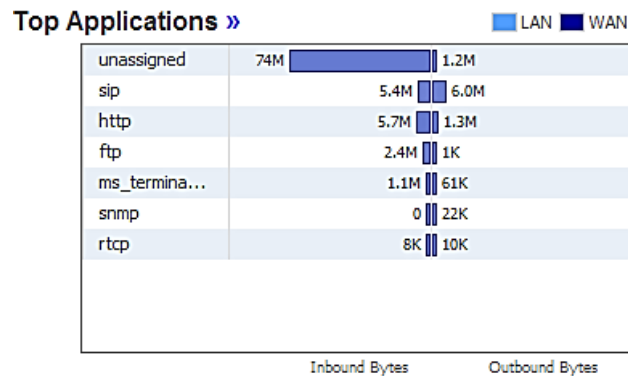
Dado que el protocolo TCP es un protocolo orientado a la conexión, y en base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, se determinó que las pérdidas de paquetes (packet loss) utilizando transmisión TCP son nulas. Esto se genera debido a que TCP retransmite los paquetes perdidos para garantizar que toda la información sea recibida correctamente. El caso contrario se da con el protocolo UDP.

Para las pruebas realizadas con transmisiones UDP, se determinó que el retardo en las transmisiones (delay) tiende a ser un valor muy bajo por lo que se considera nulo. Esto debido a que UDP es un protocolo no orientado a la conexión, por lo que no garantiza la recepción de los paquetes pero sí asegura que los tiempos de transmisión sean mínimos al no retransmitir los paquetes perdidos.

### **5.2.1 Servidores de aplicación**

Los resultados del análisis de desempeño del enlace WWAN utilizando los servidores de aplicación implementados permiten establecer el comportamiento del enlace mediante la utilización de los diferentes protocolos de operación. Para conocer el tipo de tráfico que circula por el enlace, el software de administración de los equipos NX-1700 proporciona una opción de monitorización de flujos. Esta opción permite conocer qué tipo de tráfico, basado en filtrado por protocolo, está siendo transmitido.

Además, permite conocer la cantidad de tráfico y su equivalente porcentual de utilización de la capacidad total del enlace (ver figura 78).



**Figura 78. Monitorización de flujos.**

En la figura 78 se puede observar la monitorización de flujos que realizan los equipos NX-1700. Se puede identificar claramente 7 tipos de tráfico:

- Unassigned
- SIP
- HTTP
- FTP
- MS\_TERMINAL\_SERVICES
- SNMP
- RTP

El tráfico marcado como Unassigned (sin asignar), corresponde al tráfico UDP generado por los servidores no orientados a la conexión. En el escenario de pruebas se generó aproximadamente 74 Mbps de éste tipo de tráfico a nivel LAN. Esto debido a las pruebas realizadas con el servidor de VoIP y el de transmisión multimedia.

El tráfico indicado como SIP, es el tráfico de señalización o de inicio de sesión específicamente generado por el servidor de VoIP. Este tráfico representa 5.4 Mbps del tráfico total generado en la LAN.

El tráfico marcado como HTTP, comprende todo el tráfico utilizado en transacciones web, como la transmisión de video multimedia utilizando HTTP, o el acceso al software de administración de los equipos vía navegador web. Este tráfico genera 5.7 Mbps en el extremo LAN.

El servidor de archivos FTP, transmite 2.4 Mbps de tráfico LAN en las peticiones y descargas generadas por los clientes hacia el servidor. Otros 1.1 Mbps son utilizados por el protocolo RDP también llamado MS Terminal Services, que se encarga de establecer las conexiones de escritorio remoto entre los clientes y el servidor físico.

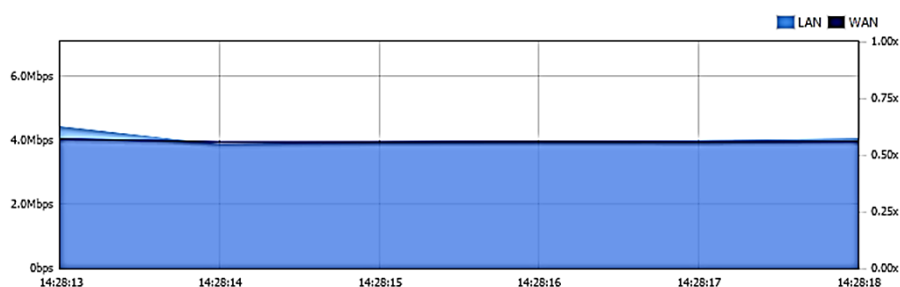
Finalmente se observan los protocolos SNMP y RTCP que son dos protocolos de administración y control de la red. Utilizan cantidades mínimas en Kbps de la capacidad del enlace debido a que el primero es un protocolo de capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre los dispositivos de red existentes, y el segundo está asociado con flujos de datos de aplicaciones multimedia. Este último, se encarga del transporte y empaquetado de datos multimedia, pero no transporta ningún dato por sí mismo. RTCP es utilizado por el servidor de transmisión multimedia, mientras que SNMP permite únicamente conocer el estado de los dispositivos de red existentes en la topología planteada.

Es importante notar que se generó un tráfico LAN aproximado de 100 Mbps para saturar el enlace por completo y verificar los resultados después de aplicar la optimización.

Una vez conocidos los flujos que atraviesan el enlace WWAN, el software de administración de los equipos NX-1700 permite también monitorear el estado del enlace, y para esto genera diversos tipos de gráficas entre las que se encuentra el estado del ancho de banda. Ésta gráfica permite comparar el estado de la capacidad del enlace sin aplicar optimización y luego de aplicarla.

- *Ancho de banda no optimizado*

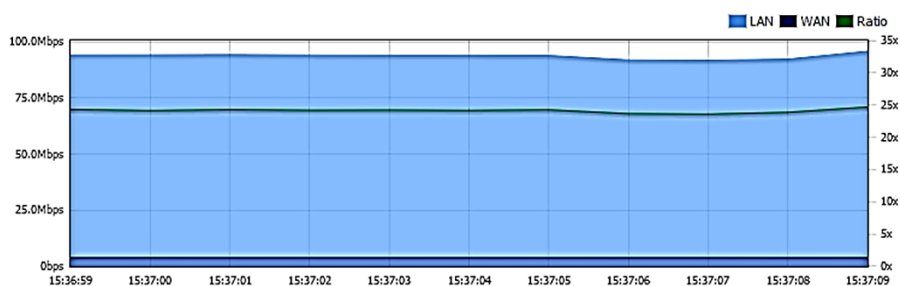
En la figura 79 se muestra el ancho de banda generado tanto a nivel LAN como el ancho de banda utilizado por la WAN sin aplicar las técnicas de optimización, es decir con el túnel desactivado.



**Figura 79. Ancho de banda no optimizado.**

Se puede observar en la figura 79 que tanto el tráfico generado a nivel LAN como el tráfico transmitido a través del enlace WWAN prácticamente se mantienen constantes en aproximadamente 4 Mbps. Esto quiere decir que aunque se genere mayor cantidad de tráfico a nivel LAN, el enlace solamente soporta transmisiones de hasta 4 Mbps y el resto de tráfico lo desecha. Adicionalmente este comportamiento causa un efecto negativo en el retardo del enlace, pues se necesita de mayor tiempo para realizar las retransmisiones de los paquetes perdidos.

En la figura 80 se indica el comportamiento del enlace luego de levantar el túnel a su estado operativo, es decir, con las técnicas de optimización y parámetros de QoS activos sobre el enlace WWAN.



**Figura 80. Ancho de banda optimizado.**

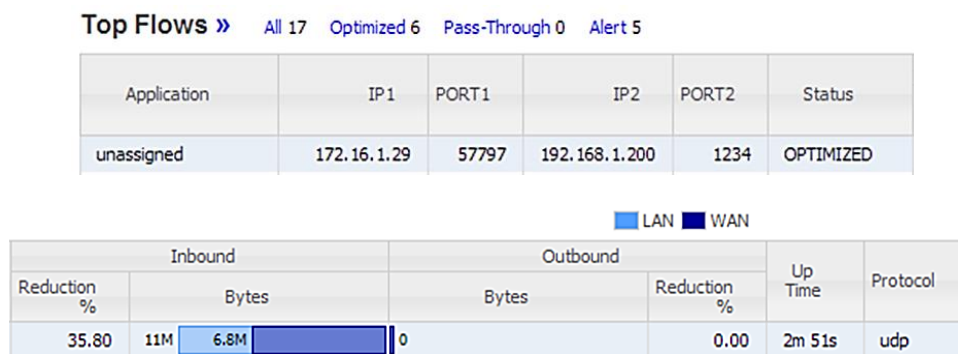


Como se distinguió en la figura 80, el tráfico generado a nivel LAN es aproximadamente igual a 100 Mbps, mientras que la transmisión del tráfico WAN refleja aproximadamente 5 Mbps de utilización del canal. Es decir, se puede transmitir sin saturar el enlace WAN al menos 100 Mbps de tráfico local, haciendo un uso eficaz de los recursos sin sacrificar latencia o retardo y garantizando la recepción de todos los paquetes transmitidos.

Se puede concluir entonces que gracias a la aplicación de las técnicas de optimización y QoS propuestas, se logra obtener un rendimiento óptimo de los recursos de red, especialmente del ancho de banda, pues al no ser necesarias las retransmisiones y al enviar a través del enlace WWAN solamente la información cambiante, se libera espacio del canal para que más información pueda ser entregada de extremo a extremo. Si no existe retransmisión de paquetes, se reduce el tiempo de retardo propio del enlace haciendo que el usuario experimente mayor velocidad en el acceso a los archivos o servicios de red.

Para determinar las mejoras en el rendimiento de cada uno de los servidores de aplicación, fue necesario analizar cada uno de los flujos transmitidos para identificar su comportamiento y compararlo en los dos ambientes de pruebas. El análisis de estos flujos se realizó monitoreando individualmente cada uno de los protocolos identificados previamente.

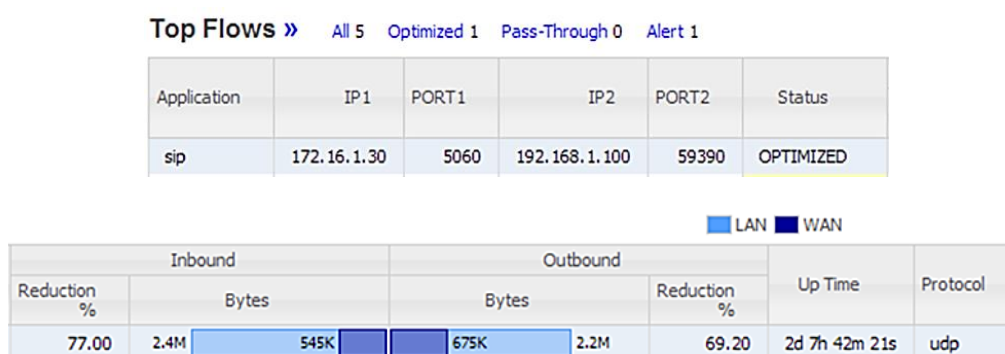
En la figura 81 se muestra las estadísticas del tráfico UDP marcado como Unassigned. Se puede observar que el estado del tráfico es OPTIMIZED, es decir, está atravesando el túnel virtual y que efectivamente se trata de tráfico UDP. El gráfico de barras indica que existió una reducción de 35.80% respecto al mismo tráfico transmitido sin optimización, o lo que es lo mismo, de 11 Mbps generados a nivel LAN, solamente se utiliza 6.8 Mbps para la transmisión total de la información en el enlace WWAN.



**Figura 81. Reducción UDP.**

De acuerdo a los datos de la figura 81, existe una mejora de aproximadamente 35% para los servicios de red que utilizan el protocolo UDP como el servidor de VoIP y el servidor de transmisión multimedia utilizados.

La figura 82 muestra las estadísticas del tráfico marcado como SIP. Ya que el estado del tráfico es OPTIMIZED, se entiende que las políticas de optimización se han aplicado correctamente para el tráfico de éste tipo que además se confirma como UDP. Existió una reducción de hasta el 77.00% respecto al mismo tráfico transmitido sin optimización, es decir, de 2.4 Mbps generados a nivel LAN, se utiliza únicamente 545 Kbps para la transmisión total de los datos SIP a través del enlace WWAN.

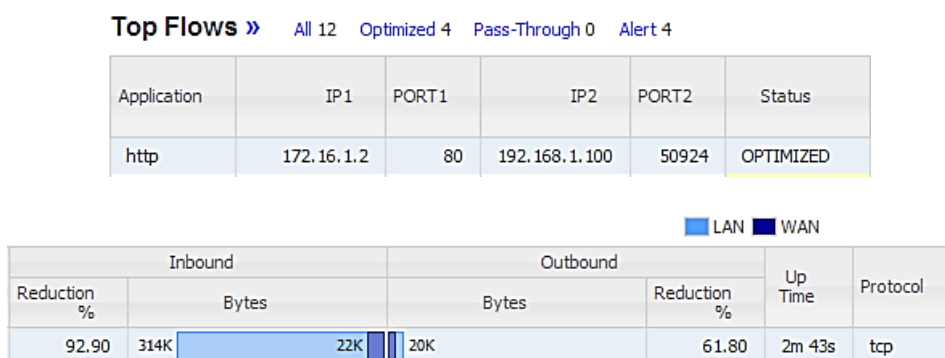


**Figura 82. Reducción SIP.**

La mejora en rendimiento del protocolo SIP es de aproximadamente 75%. Ésta mejora permite establecer las llamadas utilizando el servidor de VoIP de forma más rápida y confiable, evitando cortes y retardos propios del protocolo.

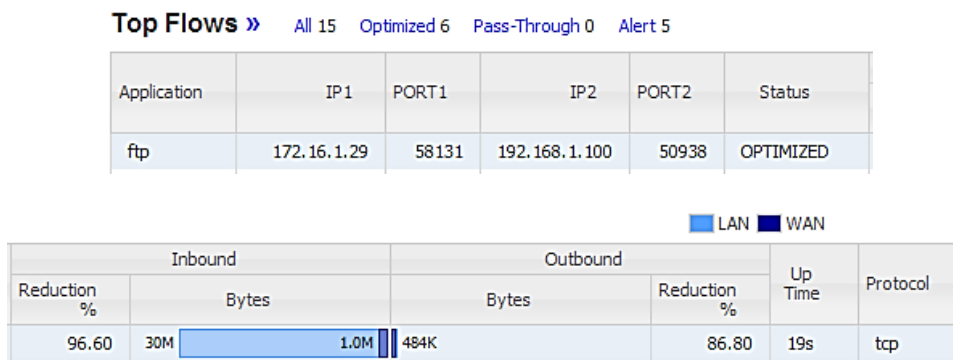
En la figura 83 se puede observar el rendimiento del tráfico HTTP. Se identifica al tráfico de este tipo como tráfico TCP y se aplica las técnicas de optimización y QoS (ver estado del tráfico). El análisis del gráfico comparativo indica que existió una reducción de hasta el 92.90% respecto al mismo tráfico transmitido sin optimización. De 314 Kbps generados a nivel LAN, se utiliza solamente 22 Kbps para la transmisión del protocolo HTTP por el enlace WWAN.

El tráfico HTTP mejora en alrededor del 90% utilizando la optimización WWAN propuesta. Esto ayuda a ampliar la capacidad de realizar peticiones web o conexiones utilizando el puerto 8080.



**Figura 83. Reducción HTTP.**

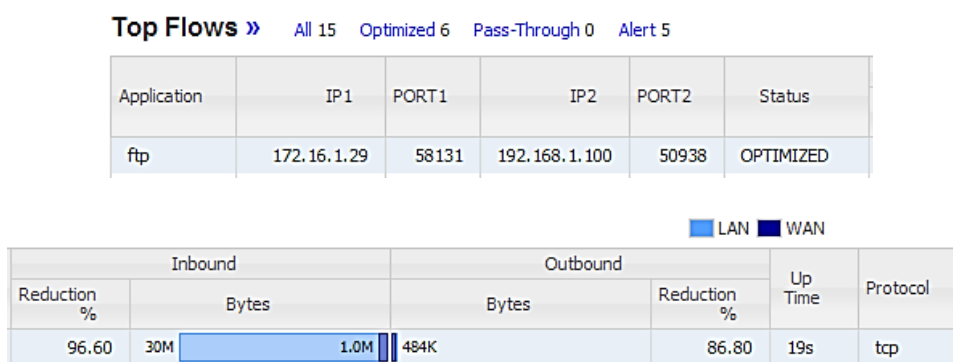
La figura 84 muestra las estadísticas del tráfico FTP perteneciente al servidor de archivos. Las políticas de optimización se aplicaron para el tráfico de éste tipo y se determina que es un tráfico de tipo TCP. Existió una reducción de hasta el 96.60% respecto al mismo tráfico transmitido sin optimización, es decir, de 30 Mbps generados en la LAN, fue necesario solamente 1 Mbps para la transmisión total de los datos a través del enlace WWAN.



**Figura 84. Reducción FTP.**

Para el protocolo FTP se tiene una mejora de aproximadamente 95%. Gracias a esto se puede obtener acceso a ficheros o documentos en línea de forma más rápida, reduciendo drásticamente los tiempos de descarga o subida de los archivos, y garantizando la confiabilidad de los datos transmitidos.

Finalmente en la figura 85 se puede observar el rendimiento del tráfico RDP o Terminal Services correspondiente a las conexiones de acceso remoto. El tráfico marcado como MS\_Terminal\_Services atraviesa el túnel virtual y es manejado por las políticas configuradas. El tráfico RDP es un tráfico de tipo TCP. Se evidenció una reducción del 19.31% respecto al mismo tráfico transmitido sin optimización.



**Figura 85. Reducción RDP.**

Las conexiones de acceso remoto utilizando RDP tienen una mejora de aproximadamente 20%. Esta mejora permite conexiones más rápidas a escritorios

remotos sin perder la conexión esporádicamente. Además mejora la calidad de las conexiones establecidas.

### 5.2.2 Inyección de tráfico

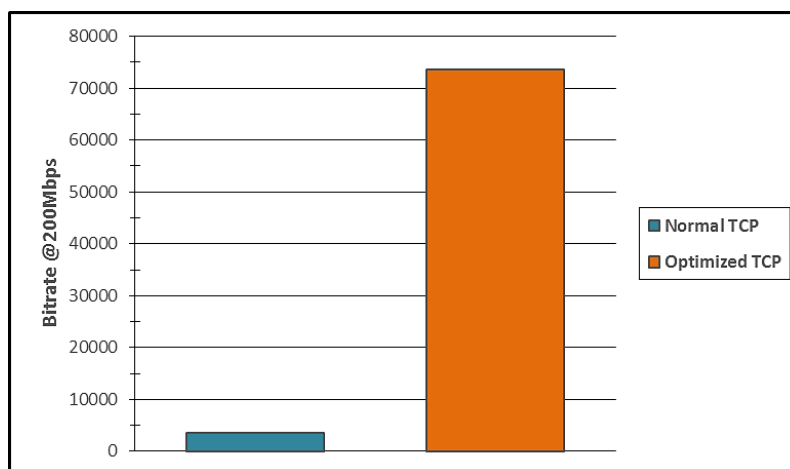
Para analizar los resultados de las pruebas de inyección de tráfico se dividirá en dos grupos, las pruebas realizadas con inyección de tráfico utilizando el protocolo TCP y las pruebas de inyección de tráfico utilizando el protocolo UDP. Para todos los casos se compara los resultados obtenidos antes y después de aplicar la optimización del enlace WWAN.

- *Bitrate TCP @ 200 Mbps*

El bitrate o tasa de transferencia de datos, es el número de bits que el enlace procesa por unidad de tiempo. Éste parámetro que permite evaluar el desempeño de un enlace de datos, analizando la velocidad de transmisión de los datos generados de extremo a extremo. El bitrate de un enlace está relacionado con su velocidad de transmisión, su ancho de banda y su compartición.

En redes inalámbricas la tasa de transmisión es generalmente inferior al ancho de banda del enlace, debido principalmente a las características propias del medio físico. Es por esto que es necesario calcular el rendimiento del enlace a partir de estos dos valores para determinar la eficiencia del enlace en estudio.

En la figura 86, se puede observar el comportamiento del protocolo TCP al realizar una inyección de 200 Mbps. Esta inyección permite saturar el enlace WWAN para determinar la capacidad real del enlace.



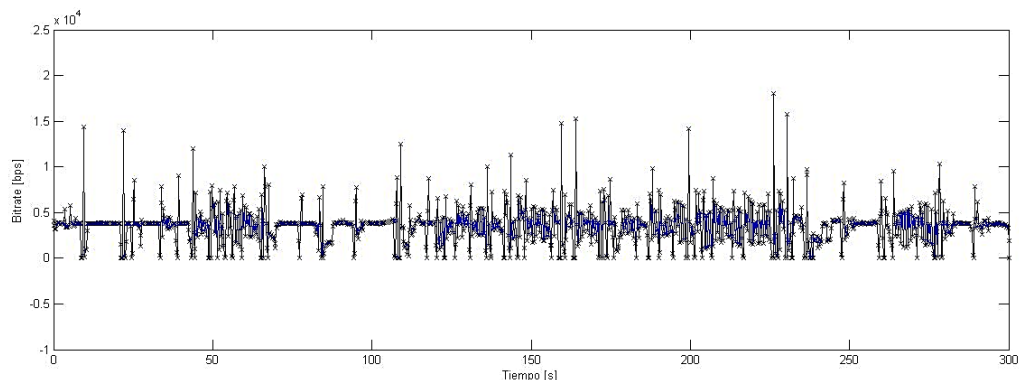
**Figura 86. Bitrate TCP @ 200 Mbps.**

El bitrate obtenido al inyectar 200 Mbps en el enlace WWAN sin aplicar optimización es de 3.5 Mbps, mientras que aplicando la optimización se puede lograr un bitrate de hasta 74 Mbps.

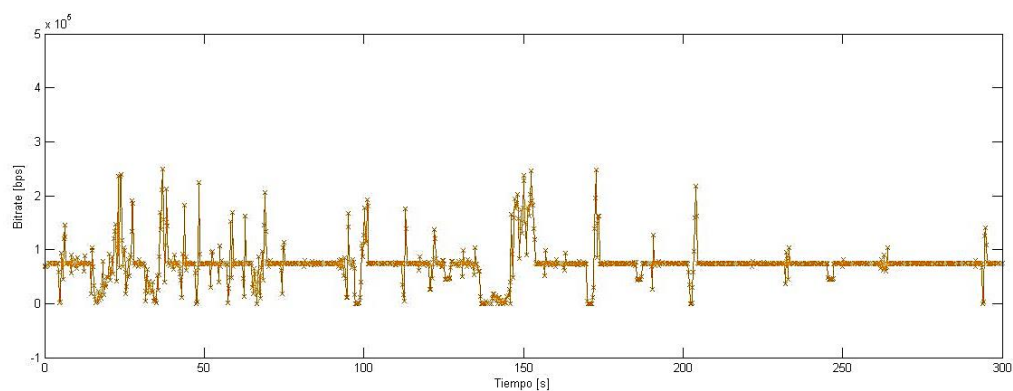
**Tabla 23.  
Bitrate TCP @ 200 Mbps.**

	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
TCP Normal	3532.588	1981.59
TCP Optimizado	73533.960	

La tabla 23 indica que se puede obtener una mejora de hasta 20 veces la capacidad al aplicar la solución de optimización propuesta para el enlace WWAN a 200 Mbps. Con estos resultados se puede concluir que la capacidad real del enlace WWAN es de 3.8 Mbps, basado en los resultados obtenidos tanto con D-ITG como con los equipos NX-1700. En las figuras 87 y 88 se muestra el comportamiento del bitrate del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico TCP a 200 Mbps.



**Figura 87. Bitrate TCP @ 200 Mbps normal.**



**Figura 88. Bitrate TCP @ 200 Mbps optimizado.**

En la tabla 24 se puede observar la mejora en el rendimiento del bitrate LAN/WAN de acuerdo a los equipos NX-1700 para efectos de comparación con los resultados obtenidos con D-ITG:

**Tabla 24.**  
**LAN/WAN Bitrate TCP @ 200 Mbps.**

	TCP Normal	TCP Optimizado
<b>Bitrate LAN [Mbps]</b>	3.78	94.95
<b>LAN Improvement [%]</b>		2411.90
<b>Bitrate WAN [Mbps]</b>	3.71	3.89
<b>WAN Improvement [%]</b>		4.85

- ***Rendimiento del enlace***

El rendimiento de un enlace es la cantidad máxima de datos que puede transmitir sin errores. Está en función de la velocidad máxima de transferencia y la latencia del enlace, teniendo en cuenta su capacidad máxima y modulación utilizada.

Como se había mencionado anteriormente, el bitrate es inferior al ancho de banda en enlaces inalámbricos, por lo que mediante el cálculo del throughput se puede determinar la eficiencia del enlace. Para calcular el throughput se debe tomar en cuenta la tecnología de transmisión utilizada y la distancia entre los extremos. En transmisiones inalámbricas se recomienda un rendimiento entre el 30% y 60%, o superior, para garantizar la calidad del enlace.

El throughput teórico lo entrega el fabricante de los equipos de radio frecuencia según el tipo de modulación escogida. En este caso, el valor del throughput máximo se encuentra descrito en el informe de la planificación del enlace realizado con el software LinkCalc adjunto en los anexos del documento. Este informe indica que al utilizar modulación BPSK ½, se obtiene un throughput máximo de 6 Mbps.

Con las pruebas realizadas tanto de inyección de tráfico como de monitoreo del ancho de banda, se concluyó que la capacidad real máxima del enlace es de 3.8 Mbps, sin que existan pérdidas o retardos en la transmisión. Teniendo en cuenta estos 2 valores, se realiza el cálculo del rendimiento del enlace de la siguiente forma:

$$\eta_w = \frac{\textit{Troughput real}}{\textit{Throughput teórico}} \times 100\%$$

$$\eta_w = \frac{3.8[\textit{Mbps}]}{6.0[\textit{Mbps}]} \times 100\% = 63.33 \%$$

Sin embargo, es necesario calcular también el rendimiento con respecto a los equipos físicos. Para esto, se toma como dato el valor máximo de optimización de los



equipos WOC, es decir 4 Mbps, de acuerdo a lo indicado en el datasheet de los equipos NX-1700 adjunto en los anexos del documento, y se calcula de la siguiente forma:

$$\eta_F = \frac{\text{Throughput máximo}}{\text{Throughput teórico}} \times 100\%$$

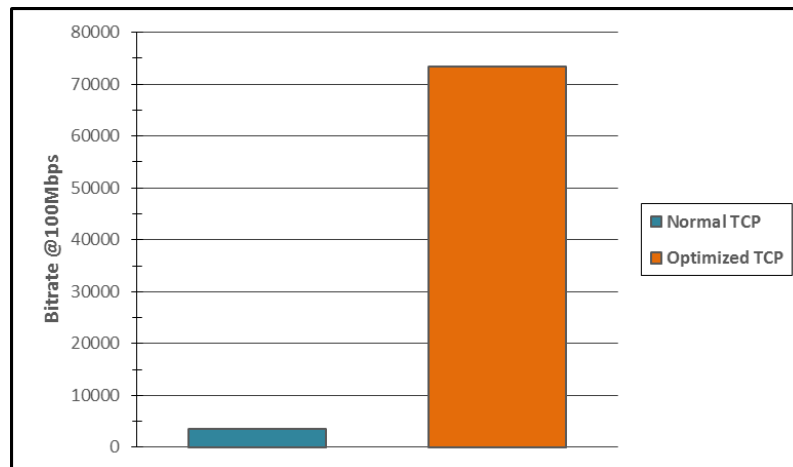
$$\eta_F = \frac{4.0[\text{Mbps}]}{6.0[\text{Mbps}]} \times 100\% = 66.67 \%$$

Como el valor calculado del rendimiento del enlace supera los límites establecidos para enlaces inalámbricos, se concluye que el enlace tiene un rendimiento bueno en términos de confiabilidad, cobertura y disponibilidad, garantizando la transmisión de los datos a nivel inalámbrico.

Del segundo cálculo se puede concluir que existe un rendimiento del 66.67% con respecto a la capacidad máxima de optimización de los equipos, es decir se tiene un 33.33% del enlace que no se estaría optimizando debido a las limitaciones de capacidad de los dispositivos WOC.

- ***Bitrate TCP @ 100 Mbps***

Luego de verificar la capacidad máxima del enlace, se inyectó tráfico TCP a 100 Mbps para comprobar las ventajas de la optimización a esta velocidad. Se consideró una transmisión a 100 Mbps debido a que en los resultados obtenidos previamente, al optimizar el enlace, éste es capaz de transmitir hasta 100 Mbps generados en la LAN utilizando su capacidad de 3.8 Mbps. En la figura 89, se puede observar el comportamiento del protocolo TCP al realizar una inyección de 100 Mbps.

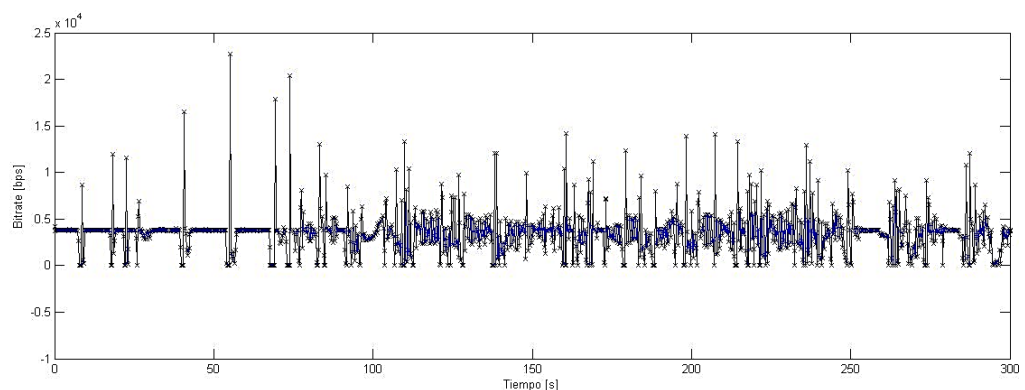


**Figura 89. Bitrate TCP @ 100 Mbps.**

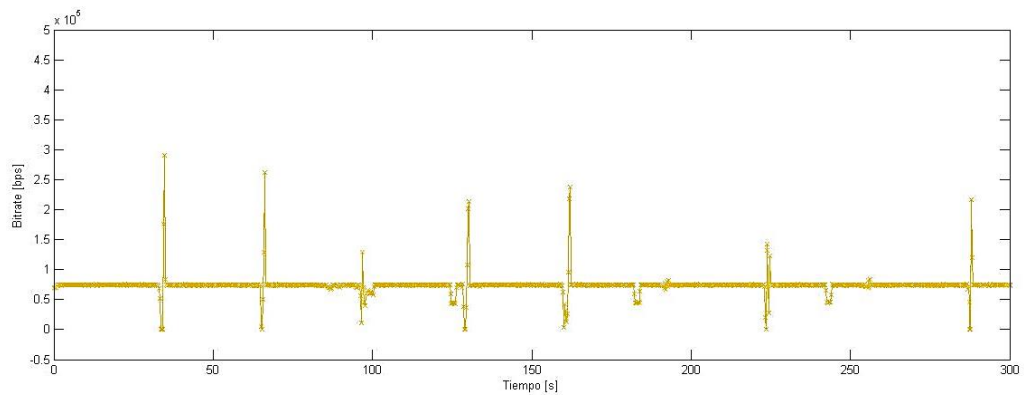
**Tabla 25.**  
**Bitrate TCP @ 100 Mbps.**

	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
TCP Normal	3468.390	2018.53
TCP Optimizado	73478.844	

El bitrate obtenido al inyectar 100 Mbps en el enlace WWAN es prácticamente el mismo que el obtenido al inyectar 200 Mbps, sin optimización de 3.5 Mbps y con optimización de 74 Mbps. La tabla 24 indica que se puede obtener una mejora de hasta 20 veces la capacidad al aplicar la solución de optimización propuesta para el enlace WWAN a 100 Mbps. En las figuras 90 y 91 se muestra el comportamiento del bitrate del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico TCP a 100 Mbps.



**Figura 90. Bitrate TCP @ 100 Mbps normal.**



**Figura 91. Bitrate TCP @ 100 Mbps optimizado.**

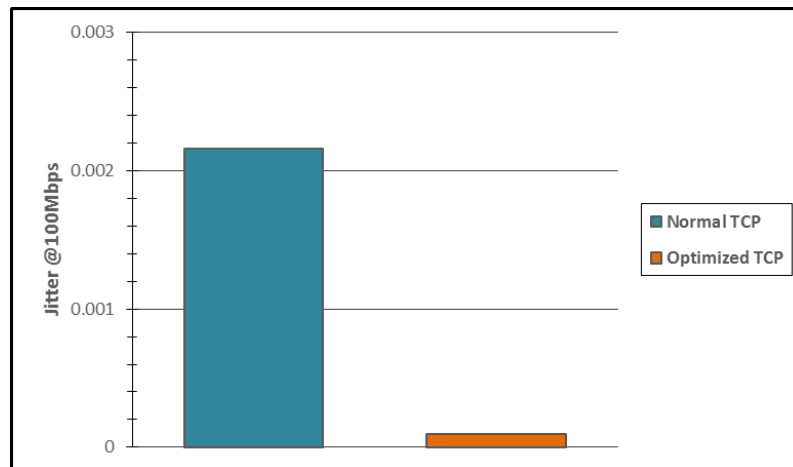
- ***Jitter TCP @ 100 Mbps***

Jitter es la variación de tiempo durante el envío de datos. Indica la cantidad de latencia entre paquetes recibidos, es decir, el tiempo con el que llega cada paquete al receptor. El jitter de un enlace depende mucho de las desviaciones en la exactitud de la señal de reloj entre el transmisor y el receptor.

Cuando el jitter indica valores bajos su comportamiento es despreciable y no afecta a las condiciones de operación del enlace, caso contrario, si los valores de jitter son altos, este parámetro puede afectar a la calidad de servicio del enlace pues altera la recepción normal de los paquetes.

El jitter de un enlace puede variar impredeciblemente debido a factores como interferencias en el trayecto de la señal, procesamiento interno de los equipos activos, tiempos de espera de conexión y/o desconexión, congestión del enlace, etc.

En la figura 92, se puede observar el jitter del enlace WWAN al inyectar 100 Mbps de tráfico TCP. El jitter del enlace WWAN al inyectar 100 Mbps es de 0.002158 segundos sin aplicar optimización, y de 0.000095 segundos con optimización.



**Figura 92. Jitter TCP @ 100 Mbps.**

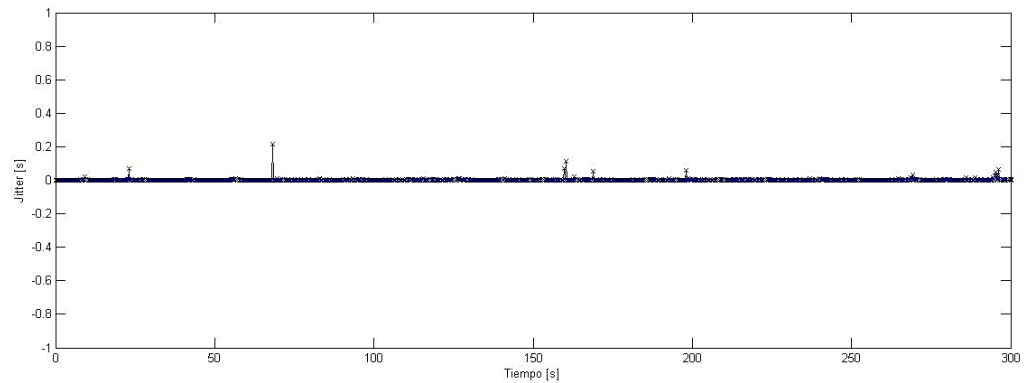
Debido a que los relojes se sincronizaron correctamente al momento de realizar las pruebas de inyección de tráfico, no existen valores altos de jitter en el enlace, sin embargo al aplicar la solución de optimización, se reduce considerablemente el valor del jitter haciéndolo despreciable.

**Tabla 26.**  
**Jitter TCP @ 100 Mbps.**

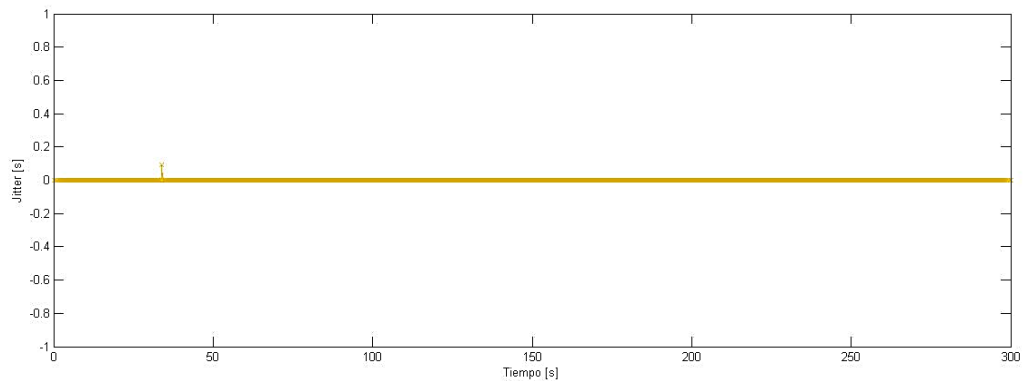
	Jitter [s]	Mejora [%]
TCP Normal	0.002158	95.60
TCP Optimizado	0.000095	

La tabla 26 indica los valores de jitter obtenidos y la mejora que prácticamente elimina el jitter del enlace a 100 Mbps.

En las figuras 93 y 94 se muestra el comportamiento del jitter del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico TCP a 100 Mbps.



**Figura 93. Jitter TCP @ 100 Mbps normal.**



**Figura 94. Jitter TCP @ 100 Mbps optimizado.**

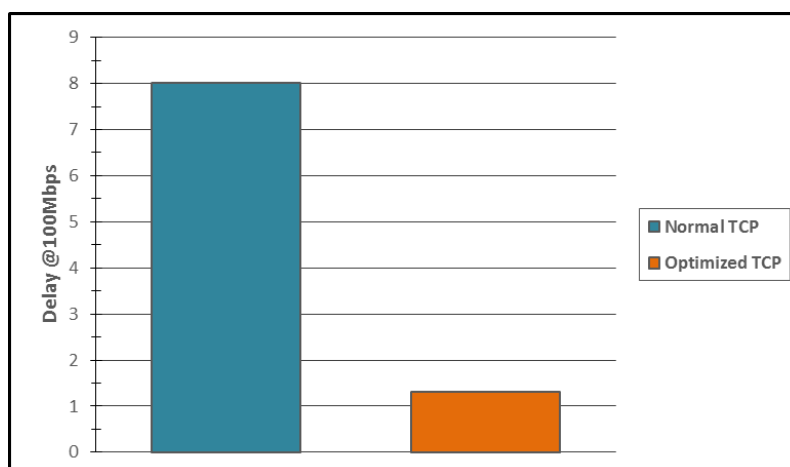
- ***Delay TCP @ 100 Mbps***

El delay o retardo del enlace es el tiempo que tarda un paquete en viajar desde el transmisor hacia el receptor de la red. El delay es la suma de todos los retardos que tiene el paquete desde que se generó hasta que se recibió, incluyendo los tiempos de transporte en la red, tiempos de retardo por procesamiento de equipos, etc.

El delay es un parámetro frecuentemente utilizado para determinar el desempeño de una red, ya que permite conocer el tiempo “round-trip” que tardan los paquetes de la red. Para esto el comando más conocido es el *ping*, que permite conocer el delay de un enlace en producción.

Debido a que este parámetro mide tiempos al igual que el jitter, es importante mantener la misma sincronización de relojes en los equipos para evitar obtener datos erróneos. Además, los valores obtenidos con D-ITG se compararon con el cálculo de los mismos utilizando Matlab para verificar resultados.

En la figura 95, se puede observar el delay del enlace WWAN al inyectar 100 Mbps de tráfico TCP. El valor del delay sin optimización en el enlace es de 8.013 segundos, mientras que aplicando la solución de optimización, el delay se reduce a 1.303 segundos.



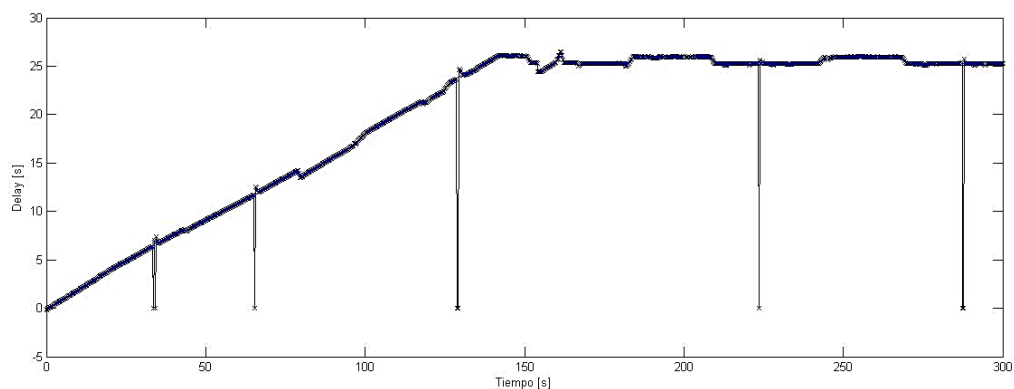
**Figura 95. Delay TCP @ 100 Mbps.**

Para el delay, debido a la buena sincronización de los relojes, los valores de delay del enlace son aceptables teniendo en cuenta el procesamiento y la distancia del enlace WWAN. La tabla 27 muestra los valores de delay obtenidos y la mejora en los retardos del enlace a 100 Mbps.

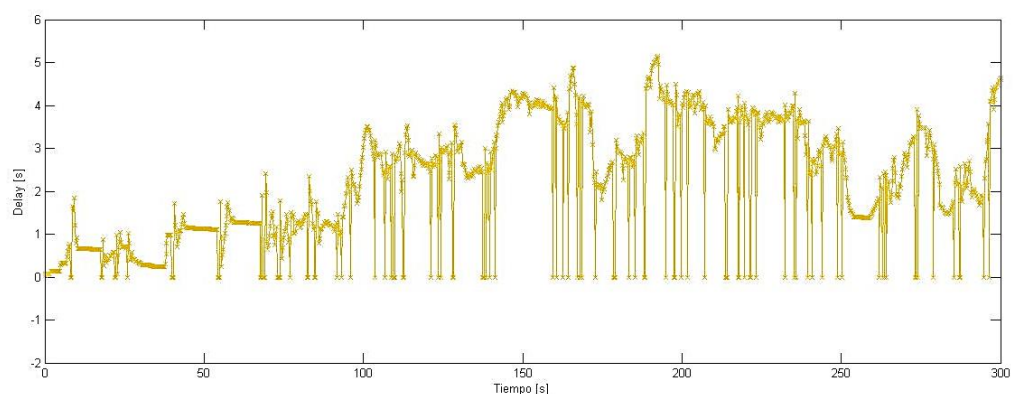
**Tabla 27.**  
**Delay TCP @ 100 Mbps.**

	Delay [s]	Mejora [%]
TCP Normal	8.013391	83.74
TCP Optimizado	1.302951	

En las figuras 96 y 97 se muestra el comportamiento del delay del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico TCP a 100 Mbps.



**Figura 96. Delay TCP @ 100 Mbps normal.**



**Figura 97. Delay TCP @ 100 Mbps optimizado.**

Para analizar los valores de delay del enlace WWAN, se utilizó como dato la desviación estándar que entrega D-ITG al analizar el archivo .log. Esta desviación es un promedio de las desviaciones individuales de un conjunto de datos y permite cuantificar el grado de dispersión o variabilidad. Para el delay, mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será el retardo del enlace.

En la figura 98 se pueden observar los valores obtenidos al analizar el archivo .log que genera D-ITG al realizar las inyecciones de tráfico, específicamente para la

inyección de tráfico TCP a 100 Mbps con el enlace optimizado. Se puede observar que el valor de la desviación estándar de delay es de 1.302951 segundos.

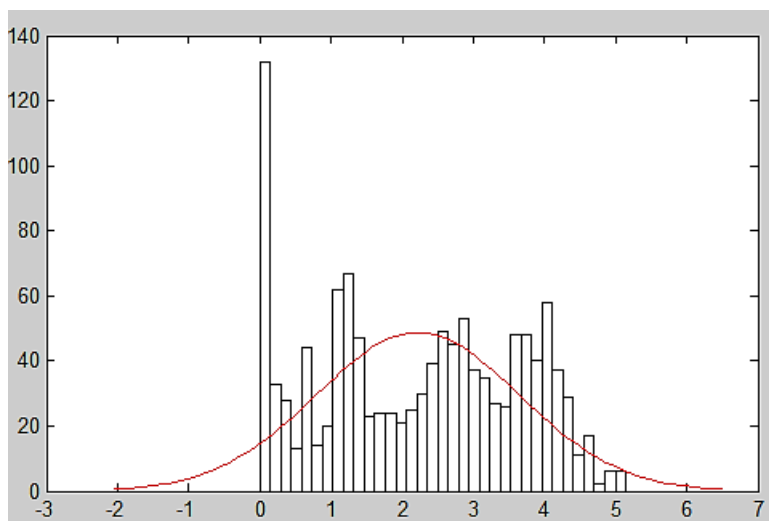
```

***** TOTAL RESULTS *****
-----
Number of flows      =          1
Total time          =    304.919250 s
Total packets       =    258198
Minimum delay       =   -0.016859 s
Maximum delay       =    5.215836 s
Average delay       =    2.493690 s
Average jitter      =    0.002158 s
Delay standard deviation =    1.302951 s
Bytes received      =   132197376
Average bitrate     =   3468.390428 Kbit/s
Average packet rate =   846.775007 pkt/s
Packets dropped     =          0 (0.00 %)
Average loss-burst size =          0 pkt
Error lines         =          0
-----

```

**Figura 98. Desviación estándar de delay.**

Para comprobar el valor obtenido de delay del enlace WWAN, se calculó el histograma de la distribución de probabilidad de los valores capturados en la inyección de tráfico utilizando Matlab (ver figura 99). Este histograma genera una curva que representa la función de densidad de probabilidad que define el posible comportamiento de un vector de datos, en este caso el vector delay.



**Figura 99. Histograma y función de probabilidad.**



El valor calculado por Matlab de acuerdo a la tabla 28 y según la función de probabilidad del histograma es de 1.4231 segundos, que es prácticamente similar al valor generado por D-ITG (1.303 segundos).

**Tabla 28.**  
**Delay calculado TCP @ 100 Mbps.**

	Delay [s]	Mejora [%]
TCP Normal	8.2294	82.71
TCP Optimizado	1.4231	

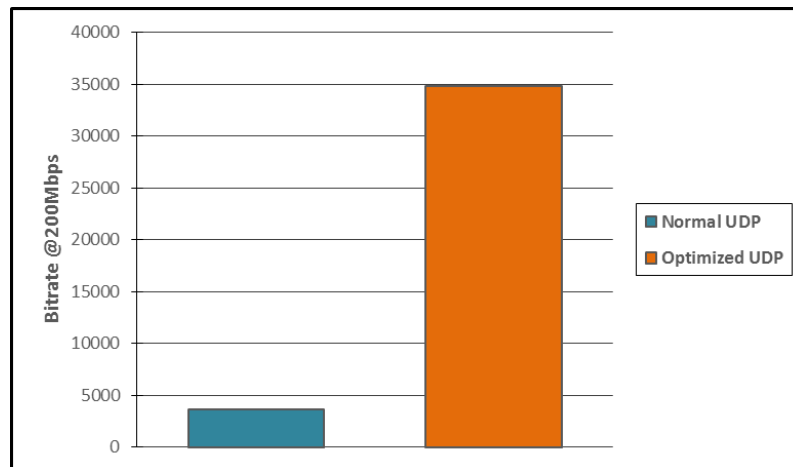
De acuerdo a estos resultados, se puede determinar que el valor de la desviación estándar generada por D-ITG, corresponde a un valor muy cercano al valor real de delay del enlace. El error porcentual se lo puede calcular comparando los valores obtenidos tanto en D-ITG como en Matlab (ver tabla 29).

**Tabla 29.**  
**Error porcentual delay TCP @ 100 Mbps.**

	Error %
TCP Normal	2.6
TCP Optimizado	8.4

- *Bitrate UDP @ 200 Mbps*

En la figura 100, se puede observar el comportamiento del protocolo UDP al realizar una inyección de 200 Mbps. Esta inyección permite saturar el enlace WWAN para determinar la capacidad real del enlace en transmisiones UDP.



**Figura 100. Bitrate UDP @ 200 Mbps.**

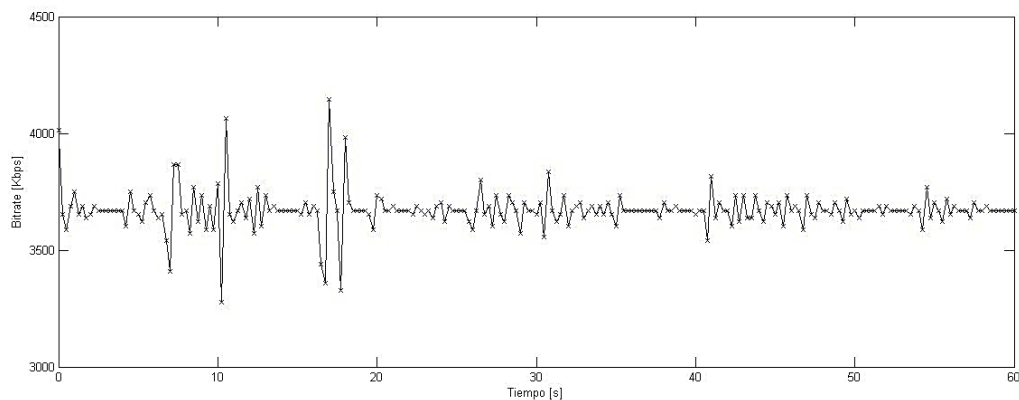
El bitrate obtenido al inyectar 200 Mbps de tráfico UDP en el enlace WWAN sin aplicar optimización es de 3.7 Mbps, mientras que aplicando la optimización se puede lograr un bitrate de hasta 35 Mbps.

**Tabla 30.**  
**Bitrate UDP @ 200 Mbps.**

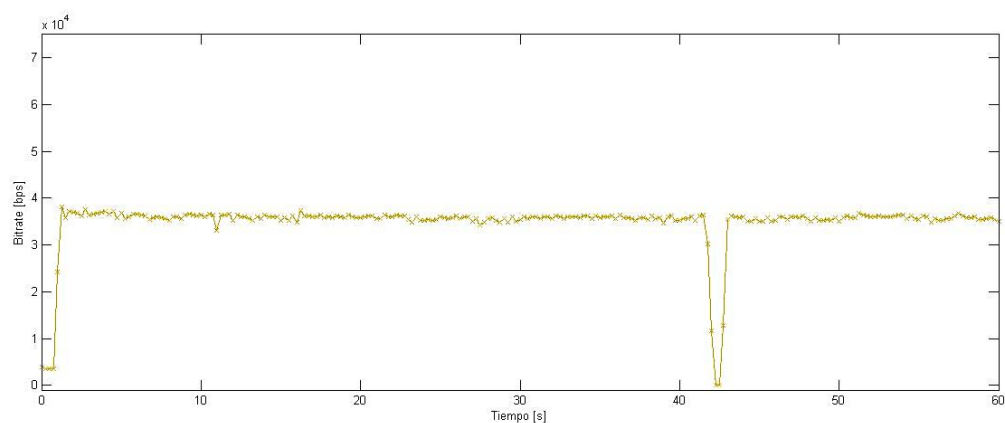
	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
TCP Normal	3671.532109	849.21
TCP Optimizado	34850.54852	

La tabla 30 indica que se puede obtener una mejora de hasta 8 veces la capacidad del enlace al aplicar la solución de optimización propuesta en transmisiones UDP a 200 Mbps. Debido a que la capacidad real del enlace WWAN es de 3.8 Mbps para tráfico TCP y para UDP se tiene 3.7 Mbps, se puede concluir que se tiene una capacidad máxima del enlace para cualquier tipo de transmisión de 3.8 Mbps.

En las figuras 101 y 102 se muestra el comportamiento del bitrate del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico UDP a 200 Mbps.



**Figura 101. Bitrate UDP @ 200 Mbps normal.**



**Figura 102. Bitrate UDP @ 200 Mbps optimizado.**

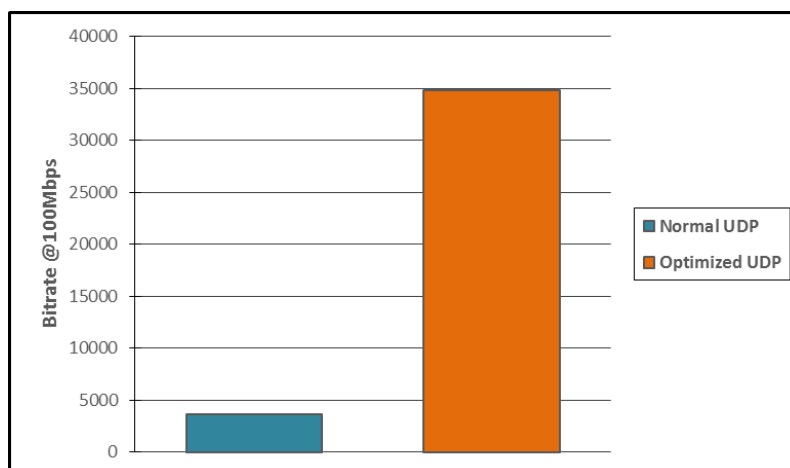
En la tabla 31 se puede observar la mejora en el rendimiento del bitrate LAN/WAN de acuerdo a los equipos NX-1700 para efectos de comparación con los resultados obtenidos con D-ITG:

**Tabla 31.**  
**LAN/WAN Bitrate UDP @ 200 Mbps.**

	UDP Normal	UDP Optimizado
<b>Bitrate LAN [Mbps]</b>	93.58	93.52
<b>LAN Improvement [%]</b>		0.06
<b>Bitrate WAN [Mbps]</b>	3.88	3.87
<b>WAN Improvement [%]</b>		0.26

- **Bitrate UDP @ 100 Mbps**

En la figura 103, se puede observar el comportamiento del protocolo UDP al realizar una inyección de 100 Mbps.



**Figura 103. Bitrate UDP @ 100 Mbps.**

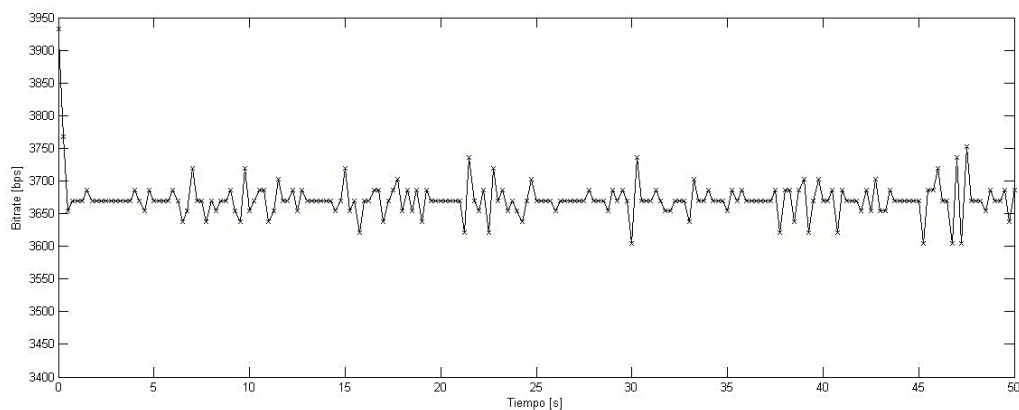
El bitrate obtenido al inyectar 100 Mbps de tráfico UDP en el enlace WWAN sin aplicar optimización es de 3.67 Mbps, mientras que aplicando la optimización se puede lograr un bitrate de hasta 35 Mbps.

**Tabla 32.**  
**Bitrate UDP @ 100 Mbps.**

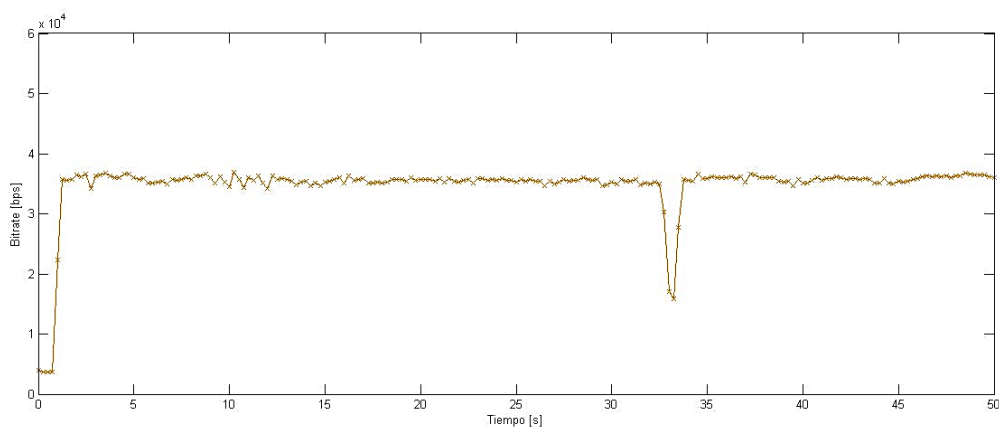
	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
UDP Normal	3671.570945	849.72
UDP Optimizado	34869.718909	

La tabla 32 indica que se puede obtener una mejora de hasta 8 veces la capacidad del enlace al aplicar la solución de optimización propuesta en transmisiones UDP a 100 Mbps. Los resultados de esta prueba son prácticamente los mismos que los obtenidos con la prueba a 200 Mbps.

En las figuras 104 y 105 se muestra el comportamiento del bitrate del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico UDP a 100 Mbps.



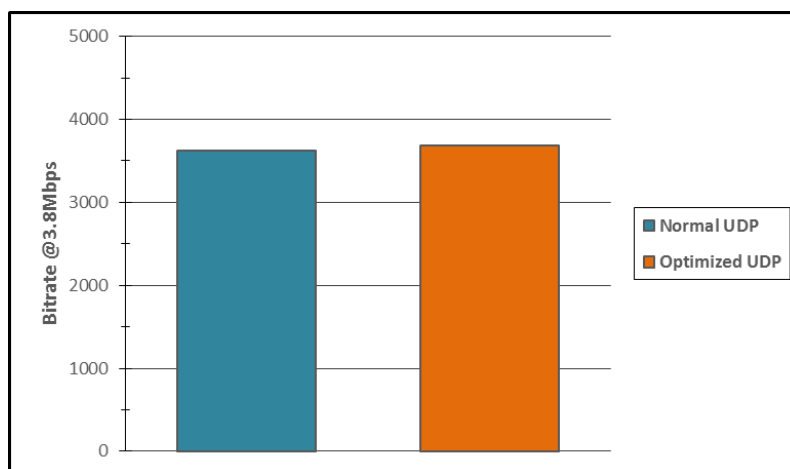
**Figura 104. Bitrate UDP @ 100 Mbps normal.**



**Figura 105. Bitrate UDP @ 100 Mbps optimizado.**

- ***Bitrate UDP @ 3.8 Mbps***

En la figura 106, se puede observar el comportamiento del protocolo UDP al realizar una inyección de 3.8 Mbps.



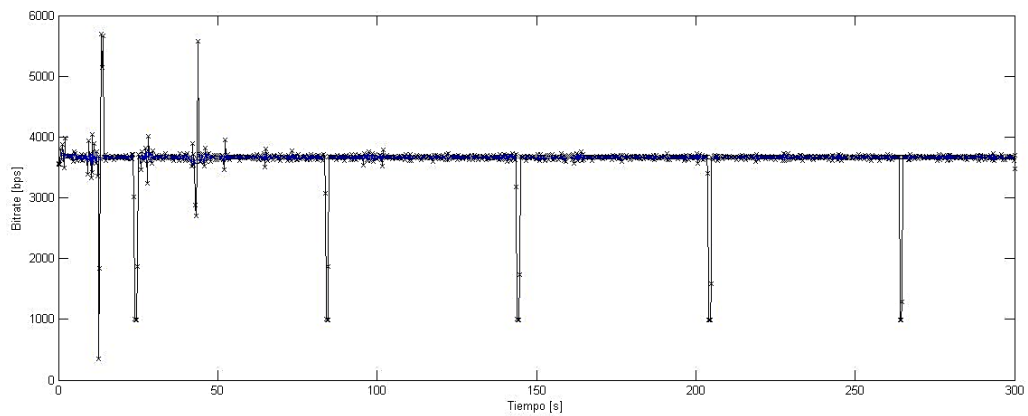
**Figura 106. Bitrate UDP @ 3.8 Mbps.**

El bitrate obtenido al inyectar 3.8 Mbps de tráfico UDP en el enlace WWAN sin aplicar optimización es de 3.62 Mbps, y aplicando la optimización 3.69 Mbps. Es decir, 3.8 Mbps es el límite máximo de transmisión UDP sin que exista pérdida de paquetes. Esta información se puede comprobar con los resultados obtenidos en el análisis de packet loss a 3.8 Mbps.

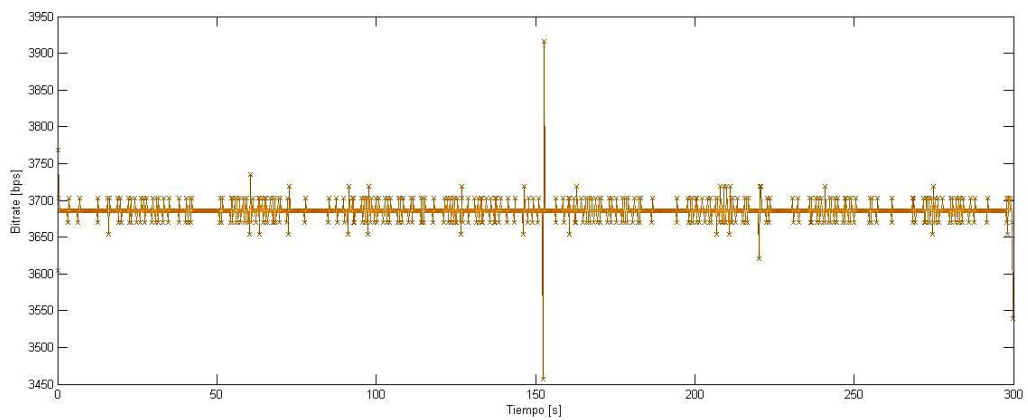
**Tabla 33.**  
**Bitrate UDP @ 100 Mbps.**

	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
UDP Normal	3623.346997	1.74
UDP Optimizado	3686.52968	

En las figuras 107 y 108 se muestra el comportamiento del bitrate del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico UDP a 3.8 Mbps.



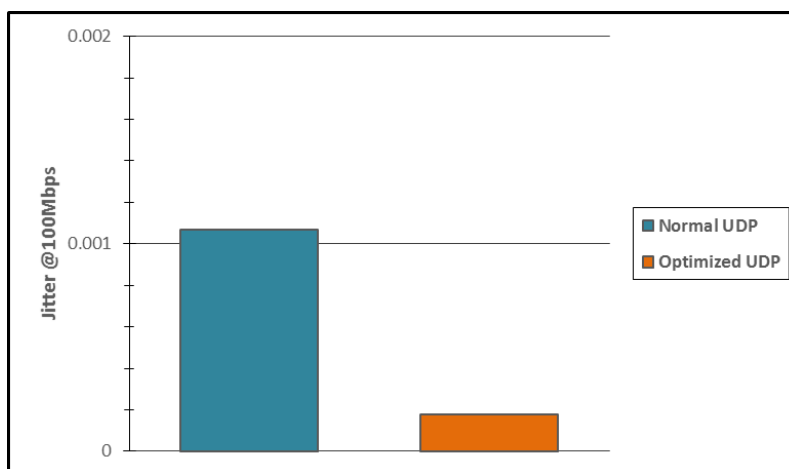
**Figura 107. Bitrate UDP @ 3.8 Mbps normal.**



**Figura 108. Bitrate UDP @ 3.8 Mbps optimizado.**

- ***Jitter UDP @ 100 Mbps***

En la figura 109, se puede observar el jitter del enlace WWAN al inyectar 100 Mbps de tráfico UDP. El jitter del enlace WWAN al inyectar 100 Mbps es de 0.001069 segundos sin aplicar optimización, y de 0.000176 segundos con optimización.



**Figura 109. Jitter TCP @ 100 Mbps.**

Como se mencionó anteriormente, los valores de jitter del enlace son bajos a causa de que los relojes se sincronizaron correctamente al momento de realizar las pruebas de inyección de tráfico.

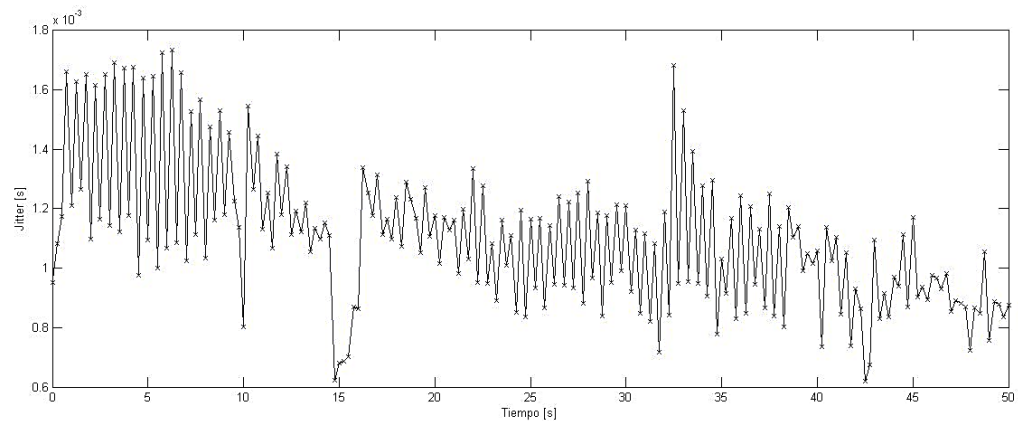
**Tabla 34.  
Jitter UDP @ 100 Mbps.**

	Jitter [s]	Mejora [%]
UDP Normal	0.001069	83.54
UDP Optimizado	0.000176	

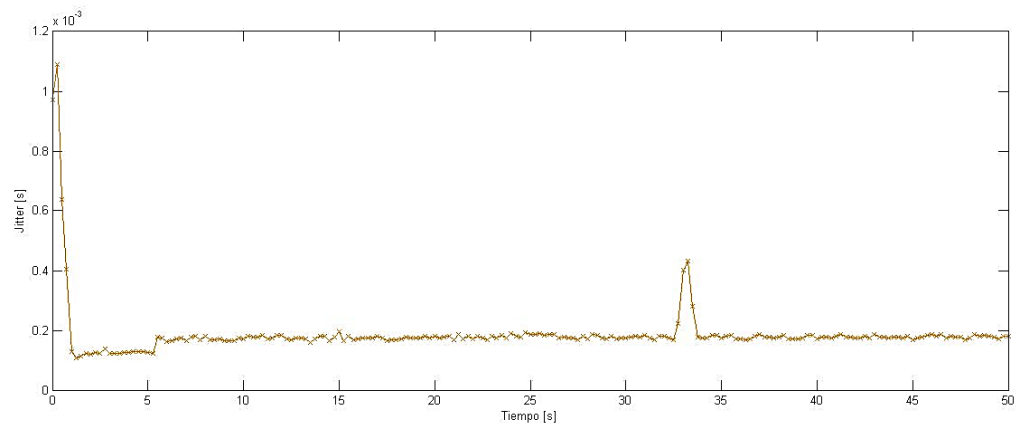
La tabla 34 indica los valores de jitter obtenidos y la mejora que prácticamente elimina el jitter del enlace a 100 Mbps en transmisiones UDP. Como se puede observar, se reduce el valor del jitter haciéndolo despreciable en el enlace.

En las figuras 110 y 111 se muestra el comportamiento del jitter del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico UDP a 100 Mbps.





**Figura 110. Jitter UDP @ 100 Mbps normal.**



**Figura 111. Jitter UDP @ 100 Mbps optimizado.**

- ***Packet loss UDP @ 100 Mbps***

La pérdida de paquetes o packet loss, se produce cuando uno o más paquetes de datos que viajan a través de un enlace no llegan a su destino, es decir, se pierden en la transmisión.

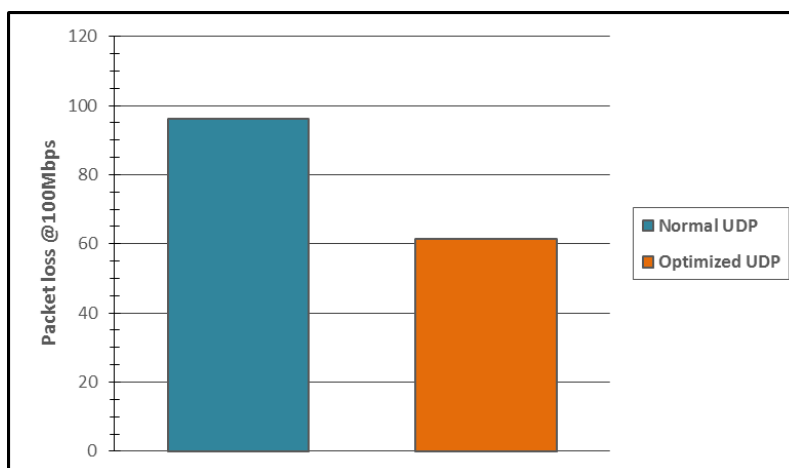
La pérdida de paquetes puede ser causada por una serie de factores que incluyen la degradación de la señal en el medio de la red debido a los desvanecimientos por múltiples trayectorias, la congestión del canal, paquetes dañados o rechazados en tránsito, hardware de red defectuoso, enlace defectuoso, entre otros.

La pérdida de paquetes también puede ocurrir intencionalmente a través de la disuasión técnica con fines de evaluación.

Cuando es causada por problemas en la red, la pérdida de paquetes puede generar problemas de rendimiento traducidos generalmente en aumento del jitter al utilizar tecnologías de streaming, voz sobre IP, y videoconferencia. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la pérdida de paquetes no siempre indica un problema si la latencia y la pérdida de paquetes en el destino son aceptables.

El protocolo UDP no proporciona la recuperación de paquetes perdidos debido a su naturaleza de no conexión, por lo que las aplicaciones que utilizan UDP definen sus propios mecanismos para el manejo de la pérdida de paquetes.

En la figura 112, se puede observar las pérdidas de paquetes del enlace WWAN al inyectar 100 Mbps de tráfico UDP. Sin optimización en el enlace se tienen pérdidas de hasta 96% en las transmisiones, mientras que aplicando la solución de optimización, se reduce las pérdidas al 61%, es decir existe una reducción de paquetes perdidos en al menos el 36%.

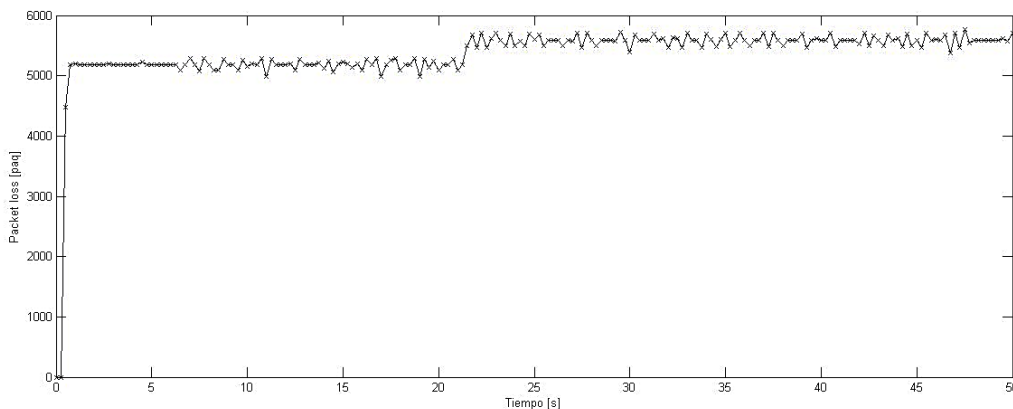


**Figura 112. Packet loss UDP @ 100 Mbps.**

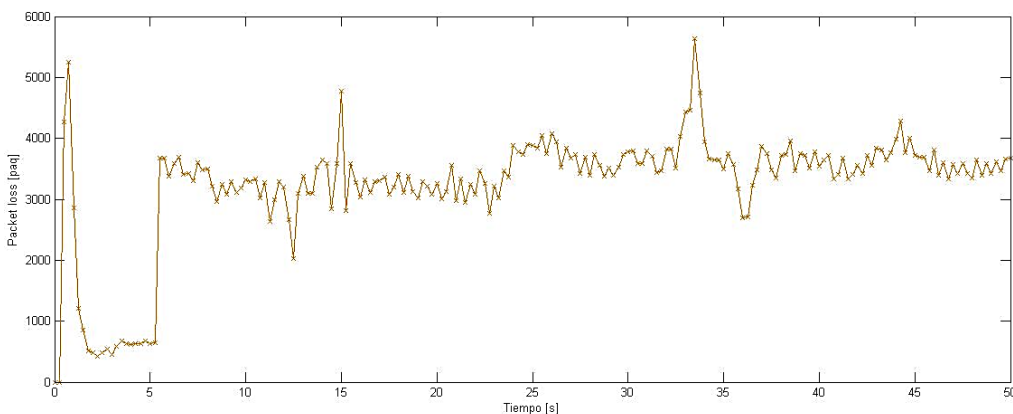
**Tabla 35.**  
**Packet loss UDP @ 100 Mbps.**

	Packet loss [%]	Mejora [%]
UDP Normal	96.02	36.18
UDP Optimizado	61.28	

En las figuras 113 y 114 se muestra el comportamiento de packet loss del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico UDP a 100 Mbps.



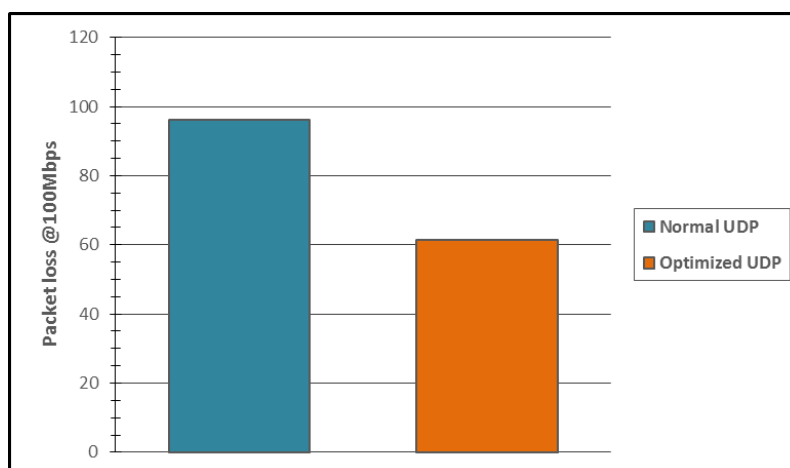
**Figura 113. Packet loss UDP @ 100 Mbps normal.**



**Figura 114. Packet loss UDP @ 100 Mbps optimizado.**

- **Packet loss UDP @ 3.8 Mbps**

A efectos de comprobar lo mencionado anteriormente, en la figura 115, se puede observar las pérdidas de paquetes del enlace WWAN al inyectar 3.8 Mbps de tráfico UDP. Sin optimización en el enlace se tienen pérdidas de 1.5% en las transmisiones, sin embargo, al aplicar la solución de optimización, se consigue eliminar las pérdidas de paquetes del enlace en transmisiones UDP, por lo que se puede concluir que el valor máximo de transmisión que soporta el enlace al utilizar el protocolo UDP, es de 3.8 Mbps.



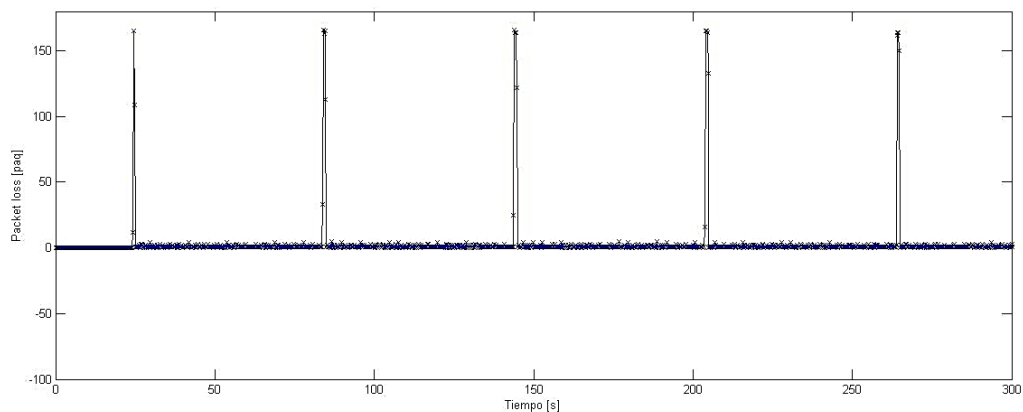
**Figura 115. Packet loss UDP @ 100 Mbps.**

**Tabla 36.**

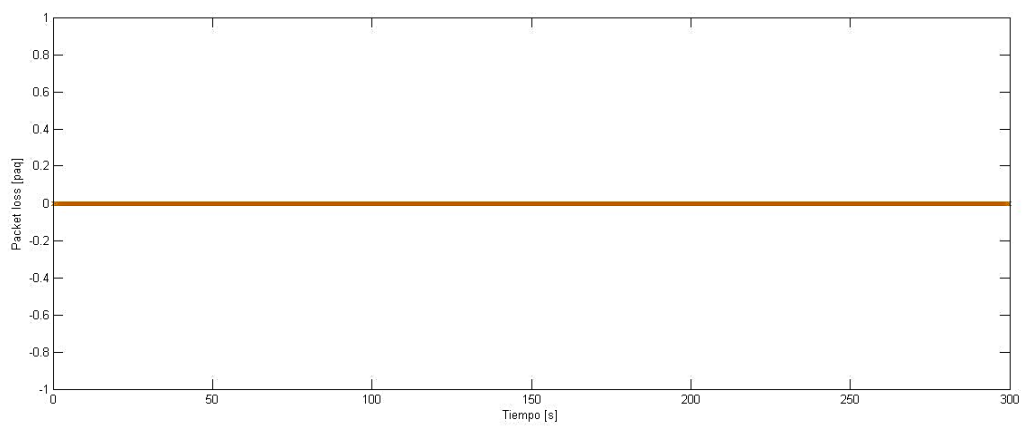
**Packet loss UDP @ 3.8 Mbps.**

	Packet loss [%]	Mejora [%]
UDP Normal	1.55	100
UDP Optimizado	0.00001	

En las figuras 116 y 117 se muestra el comportamiento de packet loss del enlace WWAN utilizando inyección de tráfico UDP a 3.8 Mbps.



**Figura 116. Packet loss UDP @ 3.8 Mbps normal.**



**Figura 117. Packet loss UDP @ 3.8 Mbps optimizado.**

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Para la implementación del enlace inalámbrico de área extendida (WWAN) utilizado en el presente trabajo de investigación, fue necesario realizar un estudio previo del funcionamiento y teoría de operaciones de los dispositivos optimizadores de enlaces WAN (WOC), así como también de las diversas técnicas de optimización existentes que se pueden emplear en la optimización de un enlace de este tipo. Esto permitió determinar una correcta solución de optimización para el enlace propuesto, teniendo en cuenta los parámetros de desempeño del mismo para comprobar las ventajas de aplicar optimización en un enlace WWAN punto a punto.

Para la correcta planificación del enlace, se utilizó el software LinkCalc propietario de Deliberant, para realizar los cálculos y simulaciones necesarios que permiten obtener las características de funcionamiento detalladas del enlace. Como resultado de este proceso, se determinó que existe factibilidad para la implementación de los equipos y el establecimiento de la comunicación utilizando los equipos de radiofrecuencia propuestos. Los resultados indicaron niveles óptimos para el enlace, por lo que se procedió a realizar la implementación y pruebas planteadas.

Se pudo concluir que existen dos diferentes rendimientos del enlace a tener en cuenta, el primero es el rendimiento del enlace WWAN con respecto a su capacidad y el segundo el rendimiento del enlace WWAN con respecto a los equipos físicos. El rendimiento permite conocer la máxima cantidad de datos efectivos sin errores que se puede alcanzar a transmitir a través del enlace. Mediante el cálculo del throughput tanto TCP como UDP, se pudo determinar la efectividad del canal en el que se está transmitiendo. Es conocido que la tasa de throughput en una red inalámbrica típica

alcanza valores en un rango entre el 30% al 60%. De acuerdo a la configuración de los equipos de radio frecuencia utilizados, y utilizando las directrices obtenidas en la planificación realizada, se obtuvo un rendimiento del 63.33% con respecto a la capacidad inalámbrica del enlace y un 66.67% con respecto a los equipos físicos. Este último fue calculado utilizando el valor máximo de optimización que soportan los dispositivos WOC, y se determinó que existe un 33.33% de la capacidad inalámbrica del enlace que no se puede optimizar debido a esta limitación en la capacidad de los equipos físicos. Sin embargo, los valores de rendimiento obtenidos son aceptables para un enlace de este tipo, garantizando así la confiabilidad, disponibilidad y optimización del enlace WWAN.

Se realizaron dos diferentes tipo de pruebas de rendimiento en el enlace WWAN establecido, las primeras utilizando servidores de aplicación como FTP, streaming multimedia, VoIP, escritorio remoto y videoconferencia, y las segundas realizando inyección de tráfico tanto TCP como UDP con la finalidad de poder analizar el desempeño del enlace antes y después de aplicar la solución de optimización propuesta. Los resultados de las pruebas realizadas se muestran a continuación en las tablas 37 y 38:

**Tabla 37.**  
**Resultados servidores de aplicación.**

<b>Tráfico</b>	<b>Reducción [%]</b>
<b>UDP</b>	35.80
<b>SIP</b>	77.00
<b>HTTP</b>	92.90
<b>FTP</b>	96.60
<b>RDP</b>	96.60

**Tabla 38.**  
**Resultados inyección de tráfico.**

<b>Tráfico</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Mejora [%]</b>
<b>UDP</b>	Bitrate WAN	4.85
	Bitrate LAN	2000
	Jitter	95.60
	Delay	83.74
<b>TCP</b>	Bitrate WAN	0.06
	Bitrate LAN	0.26
	Jitter	83.54
	Packet loss	36.18

De acuerdo a lo indicado en las tablas 37 y 38, se puede concluir que al utilizar la solución de optimización y QoS propuesta, se logra obtener un rendimiento óptimo de los recursos del enlace, permitiendo aprovechar completamente el ancho de banda en transmisiones TCP y mejorando la transmisión de datos UDP, reduciendo los paquetes perdidos. Además, se logra reducir considerablemente los retardos inherentes del enlace para cualquier tipo de transmisión.

También se puede concluir que gracias a la minuciosa sincronización al momento de realizar las pruebas de inyección de tráfico, se pudo reducir los valores de retardo como jitter y delay del enlace, lo que permitió evitar problemas en la transmisión y se logró obtener datos correctos en las pruebas realizadas.

Al evaluar el desempeño del enlace antes y después de aplicar la solución de optimización propuesta, se concluye que sin optimización, el enlace tiene una capacidad máxima de aproximadamente 4 Mbps tanto LAN como WAN, lo que está condicionado también por la capacidad máxima de optimización de los dispositivos WOC, sin embargo, al aplicar las técnicas de optimización y QoS, el enlace puede alcanzar una capacidad máxima de 100 Mbps a nivel LAN utilizando 4 Mbps a nivel WAN, es decir la capacidad completa del enlace.



## 6.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar una correcta planificación del enlace, teniendo en cuenta todos los parámetros de funcionamiento de los equipos y las características de los lugares donde se realizarán los emplazamientos. De esta forma se puede conseguir un escenario muy cercano a la realidad previo a la implementación del enlace.

El principal problema de los enlaces inalámbricos de área extendida está relacionado con las pérdidas por interferencia, por lo que se recomienda verificar la factibilidad del enlace utilizando equipos con diversidad de frecuencia y espacio, que operen en bandas no saturadas como la banda de 5 GHz. Además, se recomienda verificar siempre la existencia de línea de vista directa de ser posible para evitar el uso de estaciones repetidoras, observando que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel se encuentre despejada.

Se recomienda antes de realizar la configuración de las reglas y técnicas de optimización y QoS, determinar los flujos de aplicaciones existentes en la red, para aplicar las técnicas más apropiadas de acuerdo a cada protocolo de aplicación. Esto permite liberar al dispositivo WOC de procesamiento innecesario que puede saturarlo y generar retardos adicionales por procesamiento en las transmisiones. También es recomendable evitar saturar las políticas configuradas para la optimización de los datos, debido a que esto también crea una carga adicional de procesamiento innecesaria que puede generar congestión en la red.

Se debe tener especial cuidado en la sincronización de relojes previo a la realización de las pruebas de rendimiento del enlace, debido a que si no están bien sincronizados los relojes, se puede tener un aumento falso en los valores de jitter y delay especialmente, por lo que se recomienda prestar especial atención a este detalle.

Se recomienda verificar el correcto funcionamiento del túnel virtual creado para la optimización del enlace WWAN, debido a que se puede estar trabajando sin aplicar optimización y esto puede causar errores en la generación de los datos.

Debido a las limitaciones de capacidad de los dispositivos WOC utilizados, se recomienda utilizar equipos de mayor capacidad de optimización que la capacidad efectiva del enlace inalámbrico. Esto debido a que si se utilizan equipos de menor capacidad únicamente se optimiza una parte del throughput del enlace, por lo que la porción restante sigue transmitiéndose sin mejoras adicionales y los resultados no reflejarían el desempeño de la totalidad del enlace.

Se recomienda como trabajos futuros, la realización de las pruebas descritas en este documento utilizando otros dispositivos optimizadores para comparar las ventajas entre ellos y determinar las técnicas que incluye cada uno para establecer diferencias funcionales. Además, se recomienda la utilización de soluciones de optimización basadas en software libre que permiten implementar un dispositivo WOC en servidores existentes.

Adicionalmente se recomienda realizar como complemento a la investigación realizada en este proyecto, un estudio y análisis de las técnicas de optimización de latencia de los dispositivos optimizadores de enlaces inalámbricos, para determinar qué tipo de protocolo TCP modificado utilizan o qué otras mejoras se han hecho al mencionado protocolo para conseguir reducir la latencia de los enlaces. Para esto se sugiere utilizar software para el análisis de protocolos que permiten identificar el establecimiento de las conexiones y los paquetes intercambiados en el proceso de transmisión de datos.

## Bibliografía

- Acosta, D. (2012). *Zonas de Fresnel en redes inalámbricas*. Obtenido de <http://magnetoox24.wordpress.com/2012/12/16/zonas-de-fresnel-en-redes-inalambricas/>
- Agencia Española de protección de datos. (2010). *Glosario de términos sobre Internet y Spam*. Obtenido de [http://www.agpd.es/portalwebAGPD/glosario/glosario\\_internet\\_spam/index-idca-idphp.php](http://www.agpd.es/portalwebAGPD/glosario/glosario_internet_spam/index-idca-idphp.php)
- APTIDE. (2012). *Silver Peak - Aceleración de enlaces WAN*. Obtenido de <http://www.aptide.com.ar/archivos/Presentacion%20Silver%20Peak%20V1.pdf>
- Barrionuevo Zapata, E., & Tamayo Vegas, V. (2011). *Análisis Del Desempeño De Una Red Con Tecnología Wifi Para Largas Distancias En Un Ambiente Rural De La Región Sierra*. Sangolquí: ESPE Escuela Politécnica Del Ejército.
- Becta. (2001). *Wireless Wide Area Networks (WWAN) Technologies*. Coventry: Becta.
- Blue Coat. (2010). *WAN Optimization for Today and Tomorrow*. Blue Coat Systems.
- Blue Coat. (2014). *MACH5*. Obtenido de <http://www.bluecoat.com/>
- Broadband-Testing. (2011). *WAN Optimization Test*. Andorra: Broadband-Testing.
- Caraguay Ramírez, S. X. (2011). *Simulación de la red inalámbrica de banda ancha con tecnología WiMAX para el estado de Colima*. Colima: Universidad de Colima.
- Chakravorty, R., Banerjee, S., Rodriguez, P., Chesterfield, J., & Pratt, I. (2004). *Performance Optimizations for Wireless Wide-Area Networks: Comparative Study and Experimental Evaluation*. Wisconsin: University of Wisconsin.
- CIO Solutions. (2014). *SilverPeak Optimizing Nimble Storage Replication – Real World Results from a Private Cloud Environment*. Obtenido de <http://www.ciosolutions.com/silverpeak-optimizing-nimblestorage-replication-real-world-results-from-a-private-cloud-environment/>
- Cisco. (2006). *WAN Compression FAQs*. Cisco.
- Cisco. (2012). *Igniting Collaboration in the Next-Generation Enterprise*. Cisco.
- Cisco. (2012). *Visual Networking Index (VNI) Forecast de Cisco® (2011-2016)*. Cisco.
- Deliberant. (2013). *DLB APC v5.94 - Users guide*. Deliberant.
- Deliberant. (2014). *APC Mach 5*. Deliberant.

- Elastix. (2014). *Información del Producto*. Obtenido de <http://www.elastix.org/index.php/es/informacion-del-producto/informacion.html>
- EMC. (2010). *EMC - Silver Peak*. EMC.
- Estepa, R. (2004). *Evolución histórica de las telecomunicaciones*. Obtenido de <http://trajano.us.es/~rafa/ARSS/apuntes/tema1.pdf>
- F5. (2007). *Optimize WAN and LAN Application Performance with TCP Express*. F5 Networks.
- F5. (2014). *WAN Optimization Dashboard*. Obtenido de [http://support.f5.com/kb/en-us/products/wan\\_optimization/manuals/product/wom\\_config\\_guide\\_1021\\_fin/wom\\_config.html](http://support.f5.com/kb/en-us/products/wan_optimization/manuals/product/wom_config_guide_1021_fin/wom_config.html)
- FatPipe, N. (2012). *FatPipe Optimización de Redes WAN*. Utah: FatPipe Networks.
- Fernandez Barcell, M. (2014). *Redes WWAN/WMAN*. Jeréz: Universidad de Cádiz.
- FileZilla. (2014). *FileZilla The free FTP solution*. Obtenido de [https://filezilla-project.org/client\\_features.php](https://filezilla-project.org/client_features.php)
- Fortinet. (2014). *FortiOS 5 Handbook*. California: Fortinet.
- GIS, S. (2012). *Riverbed*. Obtenido de <http://www.gis-secure.com.mx/riverbed.html>
- Hernández Fernández, M. (2012). *Desarrollo de alternativas al protocolo TCP para redes inalámbricas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- IBM. (2012). *Optimización del Rendimiento de Aplicaciones y Redes*. Obtenido de <http://www-935.ibm.com/services/ec/es/it-services/optimizacion-del-rendimiento-de-aplicaciones-y-redes.html>
- Ipanema. (2014). *WAN OPTIMIZATION*. Obtenido de <http://www.ipanematech.com/en/wan-optimization>
- Ipanema. (2014). *WOC (WAN Optimization Controllers)*. Obtenido de <http://www.ipanematech.com/en/WOC>
- IT Wiessen. (2014). *POC (packet order correction)*. Obtenido de <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/POC-packet-order-correction.html>
- Johanson, M. (2010). *Adaptive Forward Error Correction for Real-time Internet Video*. Mölndal: Alkit Communications.
- Kerravala, Z. (2012). *Las nuevas tendencias TI exigen optimizaciones WAN de próxima generación*. Obtenido de <http://searchdatacenter.techtarget.com/es/noticias/2240174025/Las-nuevas-tendencias-TI-exigen-optimizaciones-WAN-de-proxima-generacion>

- Ligowave/Deliberant. (2014). *LinkCalc*. Obtenido de <http://www.ligowave.com/linkcalc/>
- Martínez, L. G. (2012). *Importancia de los Sistemas de Telecomunicaciones*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Medina Garcés, V. M., & Navas Cajamarca, W. P. (2006). *Análisis de Wimax como alternativa de comunicación para zona rural*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Nirmala, M. B. (2014). *WAN Optimization Tools ,Techniques and Research Issues for Cloud-based Big Data Analytics*. World Congress on Computing and Communication Technologies.
- NLANR/DAST. (2014). *Iperf*. Obtenido de <http://iperf.fr/>
- Packeteer. (2005). *The 4 Essentials of WAN Optimization*. Cupertino: Packeteer.
- Pultz, J. E. (2011). *Ten Key Actions to Reduce IT Infrastructure and Operations Costs*. Gartner.
- Ramírez Sánchez, J., & Díaz Martínez, J. V. (2008). *Las redes inalámbricas, más ventajas que desventajas*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Rec. UIT-R P.525-2. (1994). *Cálculo de la atenuación en el espacio libre*. UIT.
- RFC 1701. (1994). *Generic Routing Encapsulation (GRE)*. IETF.
- RFC 1702. (1994). *Generic Routing Encapsulation over IPv4 networks*. IETF.
- RFC 2474. (1998). *Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPV4 and IPV6 Headers*. IETF.
- RFC 2475. (1998). *An Architecture for Differentiated Services*. IETF.
- RFC 2597. (1999). *Assured Forwarding PHB Group*. IETF.
- RFC 3246. (2002). *An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior)*. IETF.
- RFC 791. (1981). *INTERNET PROTOCOL*. IETF.
- Sánchez, P. (2011). *Los nuevos retos de la optimización WAN*. Obtenido de <http://www.networkworld.es/networking/los-nuevos-retos-de-la-optimizacion-wan>
- Security, A. (2014). *Reducción de costos en enlaces WAN*. Obtenido de [http://www.sadvisor.com/soluciones/soluciones\\_masinfo.php?id=201&secc=productos&id\\_color\\_inic](http://www.sadvisor.com/soluciones/soluciones_masinfo.php?id=201&secc=productos&id_color_inic)

- SERVITEC. (2011). *Optimización y Aceleración de Redes WAN*. Obtenido de <http://servitec-mexico.com/riverbed.html>
- Silver Peak. (2012). *Appliance Manager Operator's Guide*. California: Silver Peak.
- Silver Peak. (2012). *Network Deployment Guide*. California: Silver Peak.
- Silver Peak. (2014). *Not Your Father's Cache*. Silver Peak.
- Silver Peak. (2014). *NX-1000*. Obtenido de <http://www.silver-peak.com/sites/default/files/uploads/prod-images/nx-1000.jpg>
- Silver Peak. (2014). *NX-1700 (specification sheet)*. Obtenido de <http://www.silver-peak.com/sites/default/files/infectr/nx1700specsheets.pdf>
- Silver Peak. (2014). *THE CASE FOR QUALITY OF SERVICE (QOS)*. Silver Peak.
- Silver Peak. (2014). *WAN DEDUPLICATION: GETTING MORE BY SENDING LESS*. Silver Peak.
- Silver Peak. (2014). *WAN Optimization*. Obtenido de <http://www.silver-peak.com/products-solutions/wan-optimization>
- SilverPeakWorks.com. (2014). *Silver Peak Products and Solutions*. Obtenido de <http://www.silverpeakworks.com/>
- Sturt, R. (2013). *Five ways applications benefit from enterprise WAN optimization*. Obtenido de <http://searchenterprisewan.techtarget.com/tip/Five-ways-applications-benefit-from-enterprise-WAN-optimization>
- Suárez Armijos, J. (2012). *Estudio de las características, funcionamiento, ventajas y técnicas utilizadas en los optimizadores WAN*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- SUPERTEL. (2014). *Certificados de homologaciones de equipos*. Obtenido de [http://www.supertel.gob.ec/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=101](http://www.supertel.gob.ec/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=101)
- Svendblad, H. (2013). *WAN optimization, management and security: Putting the pieces together*. Obtenido de <http://searchenterprisewan.techtarget.com/tip/WAN-optimization-management-and-security-Putting-the-pieces-together>
- TeamViewer. (2014). *TeamViewer brochure*.
- Tredent. (2013). *Benefits Of WAN Optimization*. Obtenido de <http://www.tredent.com/wan-optimization/>
- Universita' degli Studi di Napoli "Federico II". (2014). *D-ITG Distributed Internet Traffic Generator*. Nápoles.

Valle, L. (2008). *Los Servicios Inalámbricos*. Buenos Aires: Universidad de Palermo.

VideoLAN Organization. (2014). *Streaming features list*. Obtenido de <http://www.videolan.org/streaming-features.html>

Weiss, A. (2012). *The WOC: WAN Optimization in a Box*. Obtenido de <http://www.enterprisenetworkingplanet.com/netsp/the-woc-wan-optimization-in-a-box.html>

## PROGRAMA CARRERA: INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

### ACTA DE ENTREGA RECEPCIÓN DE TESIS/PROYECTO DE GRADO

---

En Santa Clara - Sangolquí, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha, siendo las once de la mañana del día viernes 29 de agosto del 2014, ante el señor Ing. Paúl Bernal MSc., Director del programa carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE-, comparece el señor egresado: Gustavo Javier Santos Logroño; quien manifiesta hacer la entrega de una impresión del desarrollo del trabajo de graduación, titulado: **“ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ENLACES INALÁMBRICOS DE ÁREA EXTENDIDA, UTILIZANDO HARDWARE DEDICADO”**.

En efecto, verificado por el Director de carrera que el egresado presenta el trabajo de graduación dentro del plazo estipulado en este reglamento, por lo que el señor Director dispone se levante la presente Acta de Entrega - Recepción, para dar cumplimiento a lo establecido en la norma legal.

Para constancia de lo actuado, firman en unidad de acto el señor Director del programa carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE- y el señor egresado de esta Carrera.

\_\_\_\_\_  
Sr. Gustavo Santos Logroño

EL EGRESADO

\_\_\_\_\_  
Ing. Paúl Bernal MSc.

EL DIRECTOR